

## 夏季モンスーン期のバングラデシュにおける大気鉛直構造の観測

寺尾 徹・林 泰一・岡 太郎

### 要 旨

バングラデシュにおける夏季モンスーン期の大気鉛直構造について、特にその日変化に着目して観測した。対流圏中層約 700hPa 付近の相当温位について、昼以降翌早朝にかけて上昇するが、その後午前中に大きく減少する日変化があることがわかった。対流圏のほぼ全層にわたって、夕方に気温が高く、朝方に気温が低い日変化が特徴的である。この気温の日変化は、特に対流圏上層で顕著である。また、これらの観測結果と客観解析データと比較した。

キーワード：バングラデシュ、湿度、GPSゾンデ、アジア夏季モンスーン、日変化

### 1. はじめに

夏季アジアモンスーン域の大気循環場の変動は、日本を含むアジアの気候との関係で重要であるだけでなく、El Nino / Southern Oscillation (ENSO) との関係を描き出されているように (Yasunari, 1991; Webster and Yang, 1992; Webster et al., 1998)、全球的な大気大循環の変動との関係でも重要な課題となっている。

筆者はこれまで、夏季アジアモンスーン域の季節内変動と、中高緯度の季節内変動との関連性についての研究をすすめてきた (Terao, 1998; 1999)。最近、Terao (1999) の中で、夏季アジアモンスーン域の 1983 年の季節内変動を解析し、対流圏上層に形成される 350-360K の温位層における大気質量の蓄積と移動が、夏季アジアモンスーン循環の形成と変動にとって重要であること、この層における質量収支解析から、ベンガル湾北岸付近でもっとも多く質量が「生成」されていたことを明らかにした。この領域は、これまで数多く行われてきた積雲対流活動に伴う非断熱加熱量を推定する研究の結果得られた加熱域 (Yanai et al. 1992; Schaack and Johnson, 1994; Hoskins et al., 1989) とよく対応している。350-360K の大気質量の「生成」は、積雲対流の中を下層の高相当温位の気塊が上層に運ばれることによって引き起こされていることは明らかである。

350-360K の気塊の「生成」のためには、対流圏

下層において、それと同じかあるいはより高い相当温位を持った顕著な湿潤気塊が形成されている必要がある。そのためには、海面に比べて高い温度に達しうる湿潤な陸域の存在が重要であろう。実際、Terao (1999) における質量収支解析の結果重要であったベンガル湾北岸に位置するバングラデシュ付近からインド北部にかけての領域は、著しく高温湿潤な陸域である。このような領域における地形や陸面過程が大気の大気鉛直構造の形成にどのような影響を与えるか調べるのが、大変重要である。

特にバングラデシュは、高温湿潤地域における陸面・地形の影響を見る上で、絶好の地域である (Fig. 1)。事実ここはしばしばきわめて広範な洪水に襲われている。大規模な洪水災害の抑止との関係でも、この地域における研究の社会的意義は大きい。

この付近での大気状態を調べる上で、その鉛直方向への気温、湿度、風分布を調べることは、きわめて重要な意義を持っている。そのためには、様々なリモートセンシングによるデータや、客観解析によって推定されるデータが重要であることは言うまでもない。しかし、第一義的に重要なのは、やはり現地における高層気象観測である。現状では、バングラデシュでの気温や湿度を含めた大気構造の観測は、首都の Dhaka のみである。特に不足していると考えられるのは、1日1回 (00GMT) に限られている点である。この領域のような、顕著な対流活動がそ

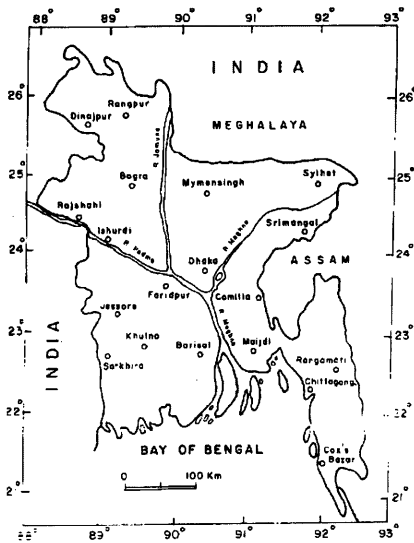


Fig. 1 Map of Bangladesh. (Cited from Pant and Rupa Kumar (1997)).

れ自体日変化を伴っている領域における大気構造の理解のためには、その日変化を解像することが必要である。事実、バングラデシュの降水は顕著な日変化を伴っていることが知られている (Ohsawa et al. (2000))。したがって、少なくとも1日数回以上の観測を行う必要がある。

以上のような課題に応えるため、1999年7月19日から8月8日にかけて、通常の高層気象観測が1日1回に限られている Dhaka において、現地気象局と協力して8日分の1日4回観測を行った。また、関連する地表付近のデータを収集した。

なお、バングラデシュは世界的に見ても有数の流域を持った大河(ガンジス・ブラマプトラ・メグナの三河川)が流入している、特異な領域である。そこで、これらの河川の流域の状況を反映すると思われる河川水と、水蒸気源を推定する上で役立つと思われる、降水の同位体比解析を着想した。これら三河川の河川水を代表すると思われるサンプルと、Dhaka における降水サンプルを採取している。この同位体比解析の結果については別報告で示すことにする。

まず、バングラデシュ付近の総観測と雨量データを用いて、観測を行った期間のモンスーン循環の長周期変動について解析した。この結果は、3. に示

した。次に、特に主要なターゲットである日変化の状況について、4. で解析した。結論は5. である。

## 2. 観測について

行われた観測は、Table 1 で示されたとおりである。1日1回行われる現地気象局の観測に加えて、1日数回、特別観測を行った。それらを加えると、1日4回観測が8日分、1日3回観測が2日分、1日2回観測が1日分となる。後半(8月5日以降)については、00Zの観測データとしては、今のところ指定気圧面のものしか得られていない。2日以上1日4回観測を継続できた以下の3つの期間を、それぞれ以下のように IOP1-IOP3 と定義する。

IOP1: 7月21日-23日

IOP2: 7月28日-30日

IOP3: 8月6日-7日

現地気象局の気象官署で観測しているデータのうち、Dhaka の6月1日-8月8日にかけて、および、バングラデシュ東北部にある Sylhet (Fig. 1) の6月1日-7月31日についての、3時間雨量、気温、湿度、風向風速のデータを提供して頂いた。そのデータのうち、特に雨量データを3., 4. で用いた。なお、この研究でもちいた客観解析データは、1999年の1日4回および日平均の NCEP/NCAR Reanalysis である。

## 3. 大規模な循環場と日降水量の変動

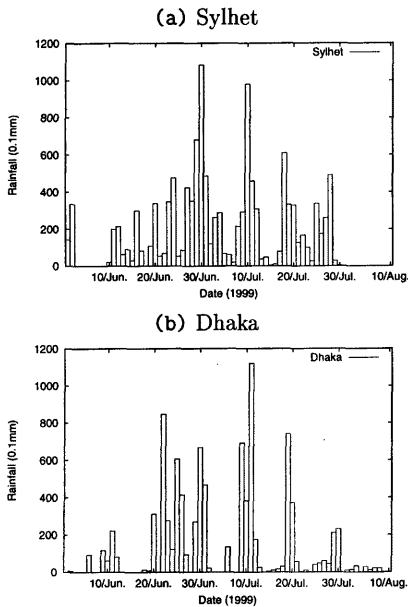
強化観測期間の循環場の特徴と、バングラデシュにおける降水強度の特徴について記述する。大規模な循環場の変動を記述するために、NCEP / NCAR Reanalysis データを用いて、1999年夏季についての南アジア上空の循環場の特徴と、その変動について調べた。

まず、降水強度の変化について調べるために、現地気象局が Dhaka と Silhet で観測した、3時間雨量のデータを解析した。世界標準時0時(00Z)から21時(21Z)までの3時間毎雨量の総和をその日の雨量としてプロットしたものを、Fig. 2 に示した。この値は、世界標準時で前日の21Zから当日の21Zまでの積算雨量をあらわすものである。これは、現地時間(BST)に直すと、03BSTから翌日の03BSTまでの積算にあたる。

一般的に知られている特徴であるが(Pant and Rupa Kumar, 1997), Sylhet の方が Dhaka よりも降水量が多いことがわかる。しかし、両方の観測点に共通した多雨期間を幾つか指摘することができ

**Table 1** List of the extra observations conducted at Dhaka. Open, closed circles indicate the extra observations and the operational observations, respectively.

Date	00Z	06Z	12Z	18Z	Date	00Z	06Z	12Z	18Z
19th July	●	—	○	—	4th August	—	○	○	○
20th July	●	—	—	—	5th August	(●)	—	—	—
21th July	●	○	○	○	6th August	(●)	○	○	○
22th July	●	○	○	○	7th August	(●)	○	○	○
23th July	●	○	○	○	8th August	(●)	○	○	—
24th July	●	—	—	—	9th August	(●)	—	—	—
28th July	●	○	○	○					
29th July	●	○	○	○					
30th July	●	○	○	○					
31th July	●	—	—	—					



**Fig. 2** Daily precipitations observed at (a) Sylhet and (b) Dhaka stations. Data of Sylhet in August are not obtained yet.

る(例えば、6月30日頃、7月10日頃、20日頃、30日頃)。ほぼ10日周期で降水のピークがみられる。南アジアでは、15-20日周期の季節内変動が卓越してみられることが指摘されているが(Gadgil and Asha, 1992; Chen and Chen, 1993), これらの

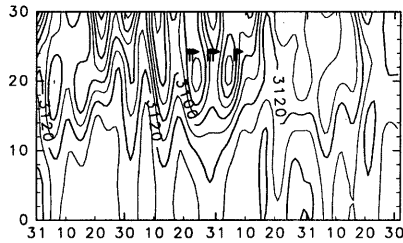
雨量データからは、より短いタイムスケールの変動が卓越して見える。7月10日以降になると、特に Dhaka の降水量は減少しはじめており、8月になるといっそう減少している(Fig. 2b, 8月の Sylhet のデータは、まだ得られていないので、Fig. 2a にはプロットされていないことに注意)。

次に、これらの雨量データを対流圏下層の循環場と比較するために、85-95°E で平均した、700hPa 高度の緯度時間断面図を Fig. 3 に示す。この指標を重視したのは、南アジア夏季モンスーンにとって重要な対流圏下層のシステムであるモンスーントラフ (Pant and Rupa Kumar, 1997) の動向を最も良くあらわしていると考えられるからである。

Fig. 3a は、6月から9月にかけての図である。見やすくするために、8日周期以上を通す low-pass filter (Duchon, 1979) をかけてある。6月20日頃以降、15-30°N にかけての領域で、10日前後の周期で変動している様子が見られる。これらは、モンスーントラフの深まりと弱まりに対応しているものと思われる。6月20日頃、30日頃、7月10日頃に強まるトラフの中心は、30°N 付近にみられる。ところが、7月20日以降については、トラフの中心が20°N 付近に移動している。8月にはいると、トラフの深まりがほとんど見られなくなってそのまま推移している。すなわち、

1. モンスーン入り直後から、モンスーントラフがチベット高原のすぐ南側で強弱を繰り返している時期(6月20日-7月10日頃)
2. モンスーントラフが南にシフトし、ベンガル湾北岸付近に停滞して強弱を繰り返している時期(7月10日-8月5日頃)
3. モンスーントラフが弱まり、その強弱の繰り返

(a) 31 May - 1 Oct., low-pass filtered



(b) 15 Jul. - 10 Aug. (IOP), not filtered

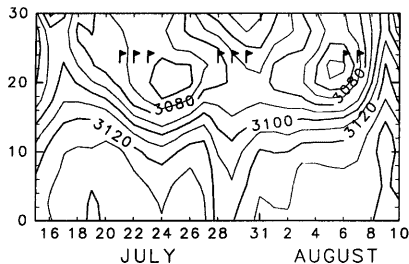


Fig. 3 Latitude-time cross sections of 700hPa geopotential height averaged between 85°E and 95°. (a) Low-pass filtered. From 31 May to 1 October. (b) Not filtered. Only for the IOP. Contour interval is 10m. Flags indicate the dates of 4 times daily observation.

しもほとんど見られなくなった時期(8月5日以降)

の3つの時期にわけることができる。

Fig. 3bは、IOP1-IOP3前後の緯度時間断面図である。ベンガル湾北岸付近を中心にした2回のトラフの深まりがとらえられている。この期間は、上記の第2の時期にあたり、モンスーントラフは一貫してDhakaよりも南のベンガル湾北岸付近にある。

IOP前後についての総観場の特徴を明らかにするために、Fig. 4に、南アジアの700hPa高度図を示した。3組の1日4回観測期間(IOP1: 7月21-23日, Fig. 4a, IOP2: 7月28-30日, Fig. 4c, IOP3: 8月6-7日, Fig. 4f)についてだけでなく、Fig. 3bでベンガル湾付近に顕著な低気圧擾乱が見られた2つの期間(DP1: 7月26-26日, Fig. 4b, DP2: 8月5-6日, Fig. 4e)について、更に、全体として気圧の高かった期間(NoDP: 7月30-31日, Fig. 4d)についてのものを示している。

いずれの期間もトラフの軸がベンガル湾北部付近にあり、2つの主要なモンスーン低気圧は、このトラフに沿うように、バングラデシュ国土の南を通っていることがわかる。トラフの軸が南に偏っていることから、モンスーン西風は強くバングラデシュに吹き込むことはできないように見える。

一般的にモンスーン低気圧はベンガル湾付近で発達して西北西へ向かうことが知られている。しかし、DP1の時期にベンガル湾付近に見られるモンスーン低気圧は、700hPaの高度変動のパターンを見る限り、インド北部から東南東進しているように見える。経度にして30-40°東に離れたところにも、つねに低気圧性擾乱が見られる。

上記のことから、IOPの総観場的な循環場の特徴は、以下のようにまとめることができる。

- 6月のモンスーン入り以降続いた30日弱の最盛期を過ぎ、モンスーントラフがベンガル湾北岸を通るようになった時期にあたる。そのため、モンスーン西風は直接バングラデシュ国土に向けては流れ込まず、降水量はそれ以前に比較して減少している。このような循環場は、いわゆるインドモンスーンの‘active’な時期、バングラデシュでは‘break’の時期にあたるのが、すでに指摘されており(Ohsawa et al., 2000)、今回の結果は、これを裏付けるものである。
- 8月以降は、降水量も少くなり、モンスーントラフの強弱現象も弱まってしまう。
- そのような状況の中でも、7月20日前後と30日前後に、降水量の増加が見られる。これらの降水量変動は、ベンガル湾北岸を通るモンスーン低気圧と関連しているように見られるが、モンスーン低気圧が通過する時期に、むしろ降水は弱まる傾向がある。降水が強まる時期には、インド北部に低気圧性擾乱が見られる傾向がある。この低気圧性擾乱の東の縁を通して、南からの気流がバングラデシュ国内に流れ込んでいるようである。
- IOP1は、全体としては‘break’の状況のもとで、モンスーン低気圧の通過の数日前にあたる降水量の多い時期と、モンスーン低気圧の通過の間の時期に行われた。
- IOP2は、その次の降水量のピーク前後に行われた。
- IOP3は、8月にはいり、かなりモンスーン活動が不活発になっていく中で行われた。

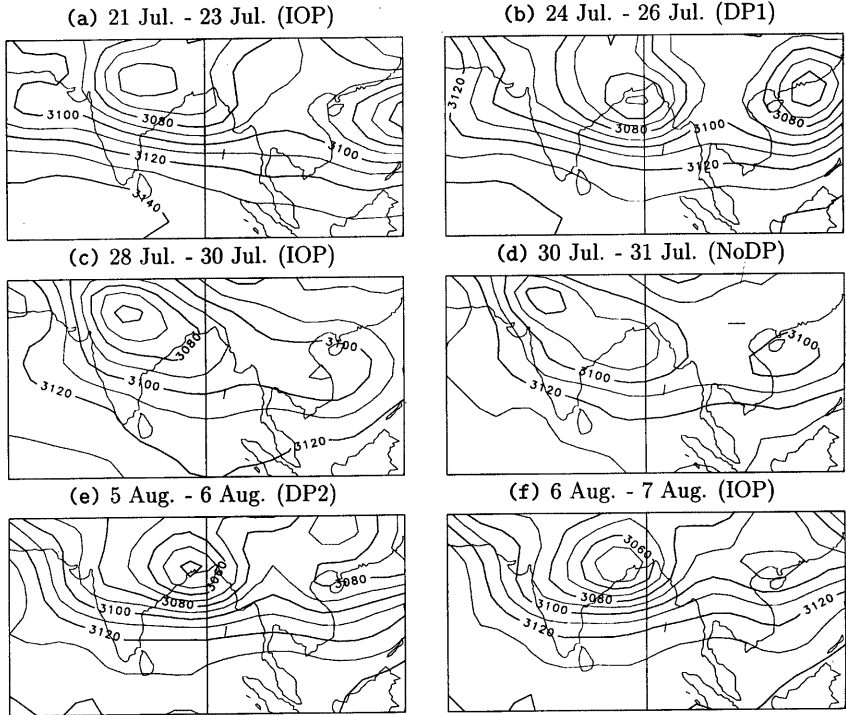


Fig. 4 Geopotential height to 700hPa over the South Asia for IOP periods ((a), (c), (f)), DP periods ((b), (e)); when strong depressions are observed in Fig. 3, NoDP period ((d)); when the geopotential heights are relatively high over the northern part of the Bay of Bengal in Fig. 3). Contour interval is 10m.

#### 4. 日変化の特徴

##### 4.1 対流圏の温度構造と降水量の日変化

###### (1) 高層気象観測

大気鉛直構造の日変化の特徴について調べるために、以下に GPS ソンデによる高層気象観測結果について述べる。高層気象観測のデータを用いて、温位 (Fig. 5), その日平均からの変位 (Fig. 6), 相当温位 (Fig. 7) の鉛直分布を計算し、それぞれ図に示した。ほぼ IOP1-IOP3 に対応する時期のデータと、9 日分の完全な 1 日 4 回観測 (Table 1 参照) の結果を用いて作成した平均的日変化パターンを示してある。

9 日分の日変化を平均して見ると、気温の変動は対流圏全層にわたってほぼ同位相で、00Z (06BST) と 12Z (18BST) ごろに極小と極大がそれぞれあらわれる (Fig. 6d)。これは特に、対流圏下層 (700hPa

より下層) と対流圏界面直下 (250-150hPa) で顕著である。対流圏上層に、350-360K の温位を持った気塊が蓄積されている様子がみられるが (Fig. 5), この層で強い日変化が確認できることは、対流圏下層の加熱の日変化が、直接対流圏最上層の大気に影響を与えている可能性を示唆している。この温位の日変化には、顕著な日と、顕著でない日とがみられる。対流圏上層のシグナルが安定していることが特徴で、22, 23, 29 日, 8 月 6, 7 日については、特に顕著な日変化を確認することができる。

一方、相当温位 (Fig. 7) はどの時刻をとっても、700hPa で極小を持つ。特徴的なのは、06Z (12BST) の相当温位が、その前 (00Z, 06BST) の観測にくらべて下降することである。このような特徴は、多くの日に共通している。相当温位は保存量であり、しかも対流圏下層の相当温位はより高い値を持っているので、相当温位の低い気塊が外から運ばれてくる

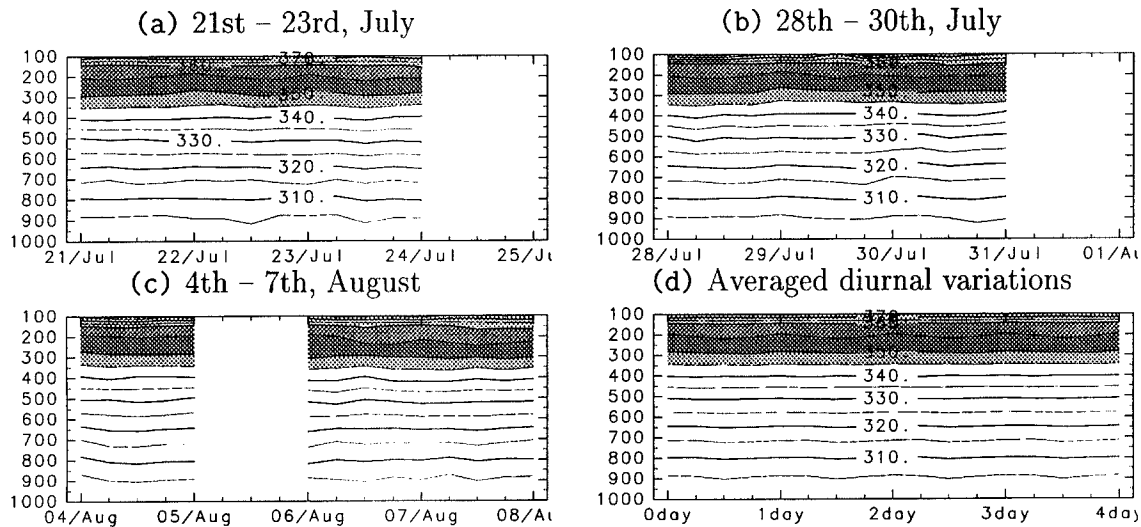


Fig. 5 Observed potential temperatures at Dhaka (a)from 21st July to 23rd July, (b)from 28th July to 30th July and (c)4th August to 7th August. (d)Averaged diurnal variations.

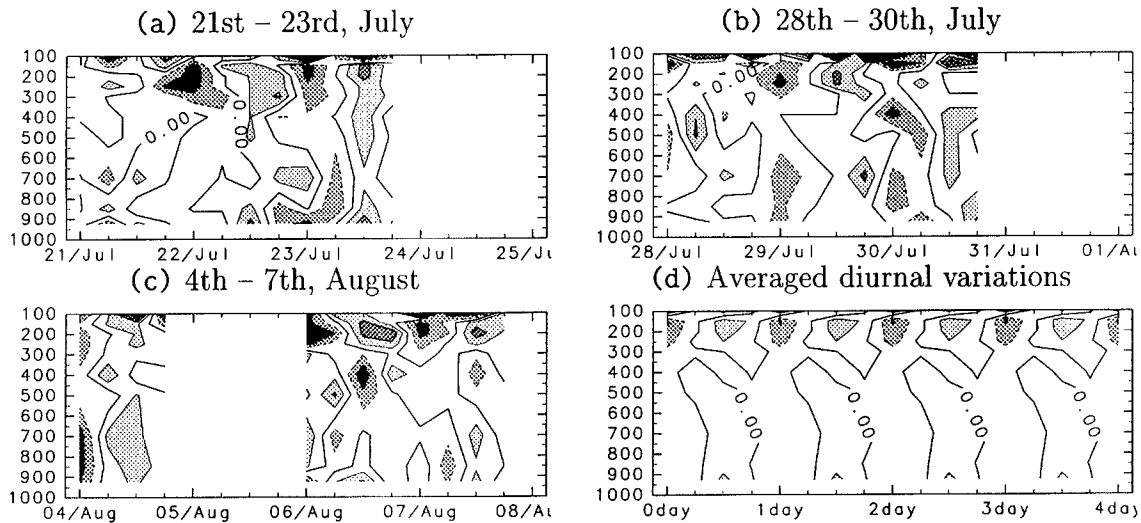


Fig. 6 Same as Fig. 5, except for the anomalies from daily averages.

ことによって、この低相当温位気塊が現われていると考えられる。06Z (12BST) 以降、相当温位は次第に上昇している。このような相当温位の変動は、湿度の増減に強く関連している。日による違いを考察すると、相当温位の特徴的な日変化が顕著にみられる日 (21st, 28th-30th July など) と、あまり顕著でない日 (22nd July, 6th, 7th August など) とが見られる。このような違いを生じる理由を明らかにすることも、重要な課題である。

## (2) 降水量

Dhaka と Sylhet の気象官署の 3 時間雨量データから、降水の日変化を調べた (Fig. 8)。この期間について平均して見る限り、Sylhet の降水量ピークは

午後から夜にかけて (12BST-00BST) なのに対し、Dhaka の降水量ピークは、夜半から朝方にかけて (00BST-09BST) となっている。これは、Ohsawa et al. (2000) とも整合的である。Dhaka と比較して、Sylhet の方は日変化はあまりはっきりしない。このような特徴は、6 月、7 月それぞれで較べて見ても大きくは変わっていない。

## (3) 高層気象観測と降水量の関係

高層気象観測から得られた対流圏の日変化には、上記のように幾つの特徴を見出すことができる。しかし、温位 (気温) の日変化が卓越する日と、相当温位の日変化が卓越する日とは必ずしも一致していない。

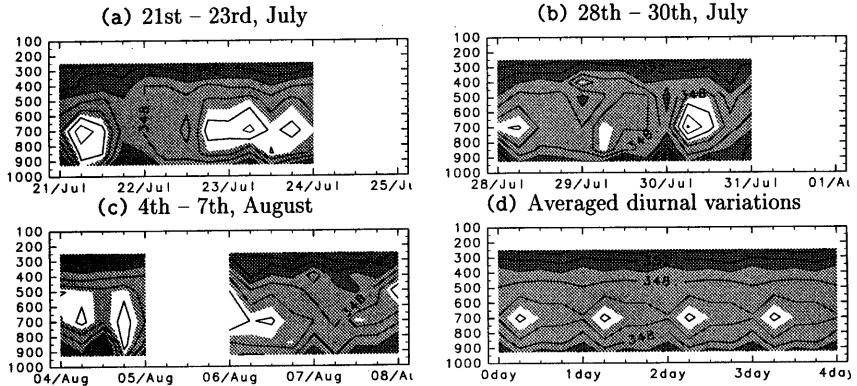


Fig. 7 Same as Fig. 5, except for equivalent potential temperatures.

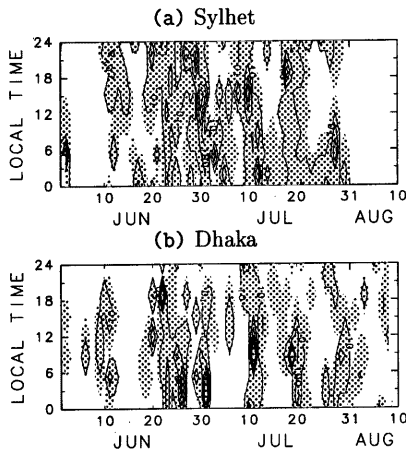


Fig. 8 Three hourly precipitations over (a) Sylhet and (b) Dhaka stations. Shades indicate rainfall. Contours are drawn at 1, 10, 20 and 30 mm/3hour. Contour labels are multiplied by 10.

降水量は (Fig. 2) にある通りであるが、その大小と、温位 (気温) や相当温位の日変化の現われ方とは、必ずしもよい関係にあるとは言えない。例えば、IOP 期間のうちで降水量が多いと言えるのは 28, 29, 30 日であるが、この 3 日間に明らかに特徴的だと言えるような特徴を見出すのは、今あるデータだけからでは困難である。

#### 4.2 客観解析データとの比較

上記のような対流圏の温度構造の日変化が、客観解析データでもみられるかどうか調べた。今回は、1999年7月の NCEP / NCAR Reanalysis データの 1日4回の解析値を用いて、日変化の比較を行った。

大気鉛直構造の日変化の比較は、相当温位に着目しつつ、Dhaka 近辺の 5つのグリッドについて行った。はっきり見られる特徴は、客観解析データにみられる対流圏中層の相当温位は、いずれも著しくゾンデ観測に比べて低いということである。日変化パターンについて言えば、もっとも近いグリッドのデータ (Fig. 9e) は必ずしもゾンデ観測データの特徴と一致せず、インド北部の陸上にあたる Fig. 9c の変動のパターンの特徴が、Dhaka のそれと比較的によく似ていることが指摘できる。すなわち、Fig. 9c については、対流圏中層 (600-700hPa) で 06Z (12BST) 以降、時間とともに相当温位は増加し、朝方 (00Z, 06BMT) に極大に達し、昼 (06Z, 12BMT) までに急速に相当温位が減少する。他のグリッドでは、このような変動は見られなかった。

#### 5. まとめ

バングラデシュにおける大気鉛直構造の日変化について、GPS ゾンデを用いて観測した。これらの観測は、1999年のバングラデシュモンスーン降水量の最盛期を過ぎたあたりから開始した。この時期には、モンスーントラフがバングラデシュ国土の南側に偏るようになり、モンスーン西風が直接流れ込むのは困難な状況になり、全体としてはモンスーンの 'break' の時期にあっていた (Ohasawa et al.,

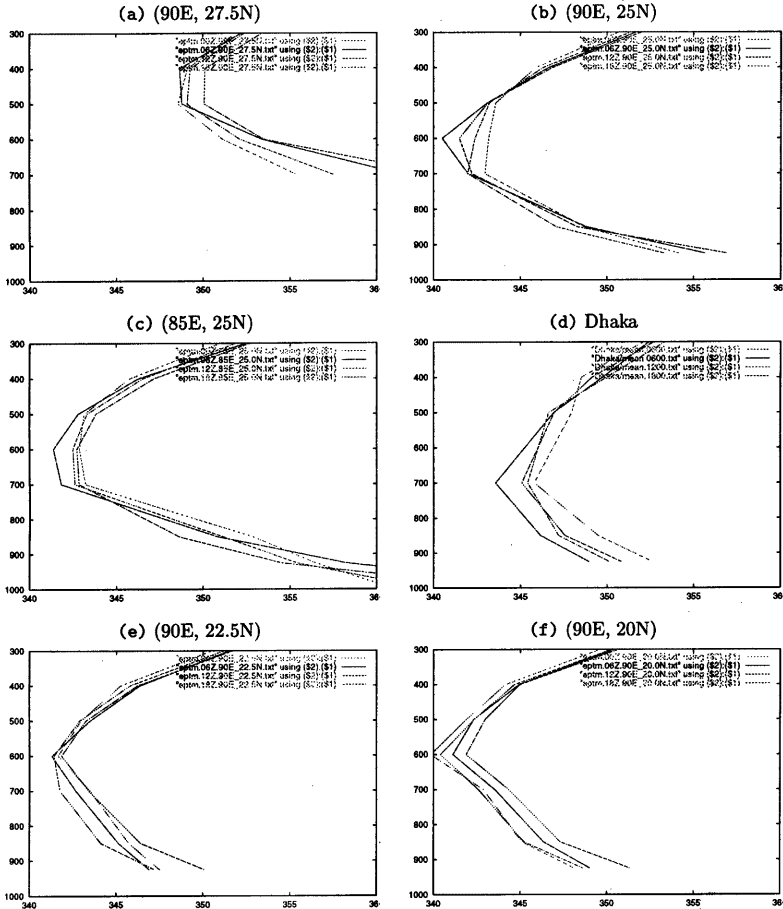


Fig. 9 Vertical profiles of equivalent potential temperature. For five grid points in the NCEP reanalysis ((a)-(c), (e), (f)), and for our Dhaka observations (d).

2000)。モンスーン低気圧が2度このトラフ上に現われたが、バングラデシュ中部から北部にかけての降水は、この低気圧の接近時には必ずしも多くなく、その接近の数日前に降水量のピークが現われていた。我々が1日4回観測を実施したのは、IOP1については降水量ピークとモンスーン低気圧接近の間、IOP2は降水量ピークとほぼ同時、IOP3はモンスーンのかなり弱まった後の時期、となっている。

1日4回観測の結果を用いて、大気鉛直構造についての解析を行った。その結果、以下のようなこ

とが明らかになった。

- 気温は、対流圏上層を中心にして、夕方(12Z, 18BST)高く、朝方(00Z, 06BST)低いという、日変化をする傾向がある。このような日変化は、対流圏上層でもっとも卓越している。
- 相当温位は、対流圏中層700hPa付近を中心にして、昼から翌日の朝方にかけて(06-00Z, 12-06BST)次第に上昇し、午前中に(00-06Z, 06-12BST)急速に低下するという日変化をする傾向がある。



- 降水量の日変化を見ると, Sylhet よりも Dhaka の方が顕著な変動をしている。ピークの現われる時間は, それぞれ午後から夜にかけて (12BST-00BST) と夜半から朝方にかけて (00BST-09BST) となっており, ほぼ逆フェーズであると言える。
- これらの日変化は, 半数くらいの日について卓越しているが, 必ずしもはっきり見られない日も多い。気温の日変化だけ, あるいは相当温位の日変化だけが卓越している日も多く, 必ずしも雨量の大小ともはっきりとは関連しない。関係は複雑である。

また, 1998 年の NCEP / NCAR 再解析データの 1 日 4 回の解析値との比較を行ったところ, Dhaka に最も近いグリッドでは, このような相当温位の日変化を再現できていないことがわかった。むしろ, インド北部のグリッドに見られる日変化が, Dhaka の日変化パターンに類似した変動をしていた。

今後, より多くの点のデータを用いた水の収支解析を行うなど, 解析を発展させる必要がある。特に, 日変化パターンをより詳細に調べるための 1 日 8 回観測の実施と, インド北部をはじめとする領域に置ける同時ゾンデ観測が重要である。また, 少ない観測を補う上では, 領域モデルを用いた物理過程の再現を行うことも有意義であろう。今回は結果を示していないが, 河川水と降水の同位体解析も, 南アジア全域の水循環について考える上で, 重要な情報を含んでいるものと考えられ, 今後解析をすすめていきたい。

#### 謝辞

図の作成や数値計算にあたり, 地球流体電脳ライブラリを利用しました。降水・河川水サンプルの同位体比測定にあたっては, 京都大学生態学研究センターの杉本敦子氏に協力していただきました。また, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) の作成したデータを利用させていただきました。バングラデシュ気象局 (BMD) には, 貴重な観測データの提供を許可していただきました。感謝いたします。

この研究は, 科学研究費補助金国際学術研究「バングラデシュ国における氾濫湖の消長に関する気象・水文学的研究」(代表: 岡太郎) より援助を受けて行なったものです。また, 国際協力事業団による「メグナ橋護岸の中長期対策の立案」に関するバングラデシュ国への専門家派遣事業の一環として行なった, 現地科学者等との技術協力の成果の一部も反映され

ています。

#### 参考文献

- Chen, T.-C. and J.-M. Chen (1993): The 10-20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time variation of monsoon rainfall, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, pp. 2465-2482.
- Duchon, C. E. (1979): Lanczos filtering in one and two dimensions, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 18, pp. 1016-1022.
- Gadgil, S. and G. Asha (1992): Intraseasonal variation of the summer monsoon, I: Observational aspects, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 70, pp. 517-527.
- Hoskins, B. J., H. H. Hsu, and I. N. James (1989): Diagnostics of the Global Atmospheric Circulation Based on ECMWF Analysis 1979-89, WCRP-27. WMO, Geneva.
- Ohsawa, T., T. Hayashi, Y. Mitsuta, and J. Matsumoto (2000): Intraseasonal variation of rainfall over bangladesh and associated monsoon activities during the 1995 summer monsoon season, *J. Geophys. Res.*, Vol. 104, pp. (submitted).
- Pant, G. B. and K. R. Kumar (1997): *Climates of South Asia*, John Wiley and Sons.
- Schaack, T. K. and D. R. Johnson (1994): January and July global distributions of atmospheric heating for 1986, 1987 and 1988, *J. Climate*, Vol. 7, pp. 1270-1285.
- Terao, T. (1998): Barotropic disturbances on intraseasonal time scales observed in the mid-latitude over the Eurasian Continent during the northern summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 76, pp. 419-436.
- Terao, T. (1999): Relationships between quasi-stationary Rossby waves in the subtropical jet and the mass and heat transport in the northern periphery of the Tibetan high, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 77, pp. 1271-1286.
- Webster, P. J. and S. Yang (1992): Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems,

- Quart. J. Roy. Met. Soc., Vol. 118, pp. 877–926.
- Webster, P. J. , V. O. Magaña, T. N. Palmer, J. Shukla, R. A. Tomas, M. Yanai, and T. Yasunari (1998): Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction, J. Geophys. Res., Vol. 103, pp. 14,451–14,510.
- Yanai, M. , C. Li, and Z. Song (1992): Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 70, pp. 319–351.
- Yasunari, T. (1991): The monsoon year — a new concept of the climate year in the tropics, Bull. Am. Meteorol. Soc., Vol. 72, pp. 1331–1338.

## **Observational Study on the Atmospheric Vertical Structure over Bangladesh during the Asian Summer Monsoon**

Toru Terao, Taiichi Hayashi, Taro Oka

### **Synopsis**

Variations of atmospheric vertical structure over Bangladesh during the Asian summer monsoon season were observed using GPS sondes with special attention to their diurnal cycles. While the equivalent potential temperature in the middle troposphere around 700hPa increases from the daytime until next early morning, it suddenly decreases during the morning. Temperature rises in the daytime and attains its peak at early evening. The temperature minimum was found in the morning. These findings were compared with the objective analysis.

**Keywords** :Bangladesh, humidity, GPS sonde, Asian summer monsoon, diurnal variation