

バングラデシュの気象観測事情と夏季モンスーンの降雨の研究

附属災害観測実験センター 林 泰一
潮岬風力実験所 河内伸治

1. はじめに

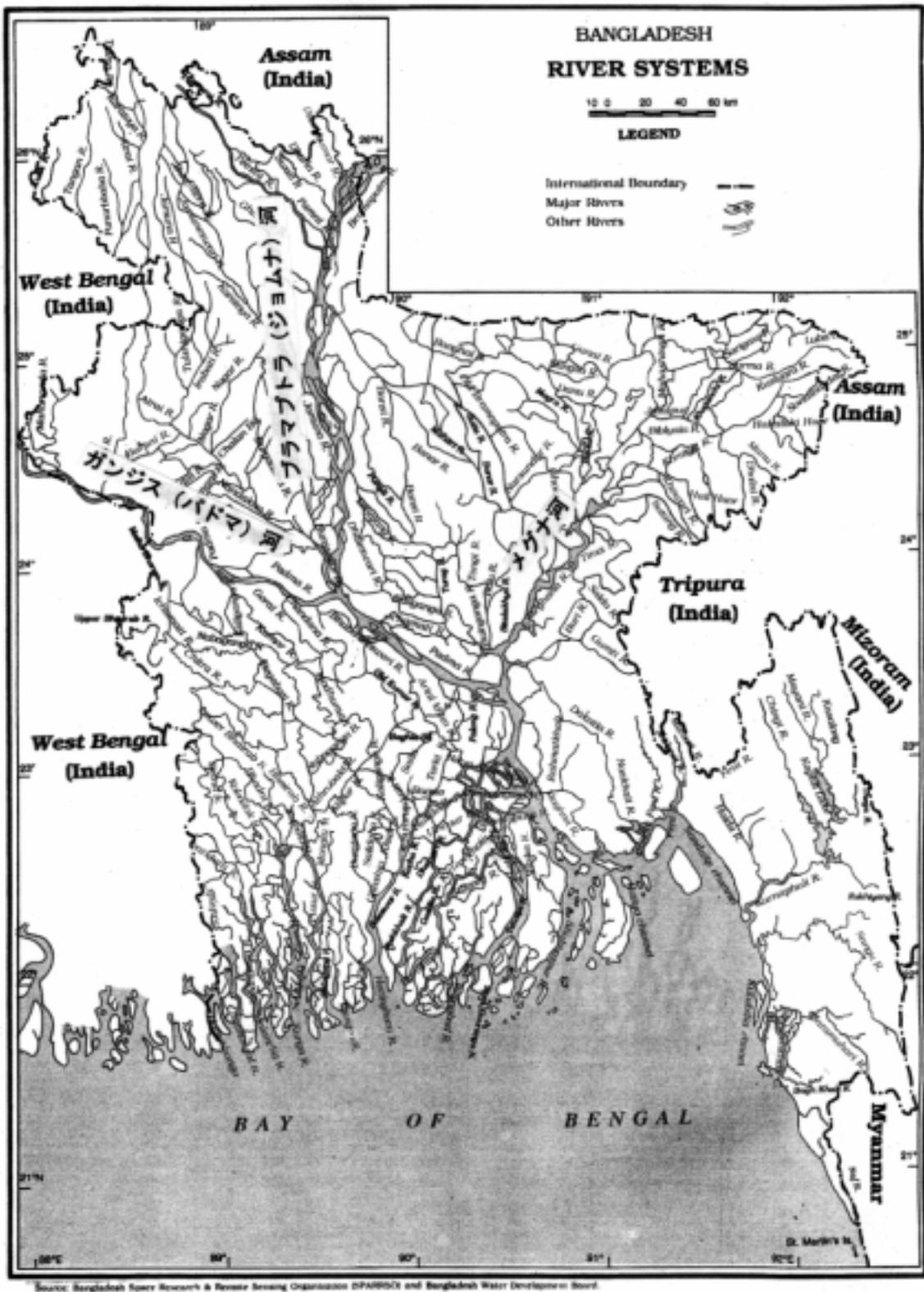
バングラデシュは、洪水、サイクロンなどの気象災害をしばしば被り、大きな被害を引き起こしてきました。サイクロンは、雨期の前の4 - 5月と、雨期の後の10 - 11月に発生します。とくに、独立直後の1971年11月のサイクロンによる被害は、死者30万人を越えて、自然災害の中でももっとも被害が大きなものとして記録されています(Anthes, 1982)。また、1991年4月のサイクロン災害では、主に高潮によって、死者10万人以上の被害が出ました。洪水については、1987、1988年に連続して大洪水を引き起こしました(Ahmad, 1989)。その後、1998年には、洪水氾濫面積が国土面積の約70%に当たる10万km²を越えるような大洪水を被りました(Ali et al., 1998)。このほかにも、“Nor'wester”と呼ばれる北西の冷たい気流によって大気が不安定になり、竜巻を伴う雷雨が雨期前の4 - 5月に発生し、1996年5月には500人以上の死者を出す被害を引き起こしました(Hayashi et al., 1997)。このように、バングラデシュは、12月から2月までの冬季を除くと、いつも何かしら気象災害が発生している国です。

これらのバングラデシュの自然災害について、これまでに、科学研究費突発災害として、1987年の洪水被害の調査「1987年モンスーン期の豪雨によるバングラデシュの洪水氾濫災害の調査研究」(代表村本嘉雄, Muramoto, 1988)、1991年のサイクロンによる高潮強風被害の調査“Meteorological Characteristics of the 1991 Cyclone, Storm Surge and Severe Wind Disasters Caused by the 1991 Cyclone in Bangladesh”(代表桂順治 Katsura, 1992)について、科学研究費「バングラデシュ国における洪水・高潮災害とその被害軽減に関する研究」(代表岡太郎, 1995 - 1997)、「バングラデシュ国における氾濫湖の発生と消長に関する研究」(代表岡太郎, 1999 - 2001)や科学研究費「バングラデシュ国の洪水など気象災害の発生原因となる降雨過程に関する調査・研究」(代表林泰一, 2000 - 2002)による研究が引き継がれています。また、国際協力事業団(JICA)のプロジェクト「バングラデシュ国の洪水対策に関する技術協力」(1995 - 1997)、「バングラデシュ国の洪水対策に関する技術協力 Phase Ⅱ」(2000 - 2001)(IFCDR and JICA, 1997)でも、京都大学防災研究所は中心的な役割を果たしてきました。

ここでは、これまで10年あまり、付き合ってきたバングラデシュの気象観測事情、とくに最近開始した夏季モンスーン期の高層観測について報告します。

2. バングラデシュの地理

バングラデシュはインド亜大陸とインドシナ半島にはさまれ、ベンガル湾の奥に位置する小さな国です。その面積14万km²(日本の40%以下)に対し、人口は1億2000万人を越えて、日本とほぼ同じです。当然人口密度は1km²あたり840人に達し、日本の2倍以上になります。地図を見るとわかるとおり、バングラデシュは大きな河がベンガ



第1図 バングラデシュの河川の分布

ル湾に注ぐ河口部にそのデルタ地帯であることがわかります。とくに、ヒマラヤを源としてインド北東部のガンジス河（バングラデシュではポッダ河）、遠くヒマラヤの北部チベット高原を源とするブラマプトラ（同じくジヨムナ河）、ミャンマーのアラカン山脈を源

とするメグナ河が，バングラデシュの三大河川です．その流域面積は，ガンジス河が約 109 万 km²，ブラマプトラ河が約 55 万 km²，メグナ河が約 8 万 km² で，合計約 172 万 km² に達します．第 1 図にはバングラデシュの河川の様子を示しますが，三大河川に注ぐその支流が網の目のように全土を覆いつくしていることがわかります．

このように，大河川のデルタとして，国土が形成されているため，バングラデシュはとても平坦な地形で成り立っており，国土の 50% 以上が海拔 7 m 以下の低地にあります．

このため，数年に 1 度の割合で洪水に見舞われてきました．特に 1998 年の洪水では首都ダッカでも被災し，都心でも床上浸水の被害が発生しました．日本の急流で短い距離の河川と，河幅 10 km におよぶ雄大な河川のバングラデシュの洪水は全く異なります．6 月の雨期にはいるとじわじわと水位が上昇し，9 月に雨期が終わるとともに次第に推移が下がっていきます．その水位がどの程度まで上がるかが問題です．三大河川はバングラデシュ国内だけを流れるわけではなく，その源は他の国にあります．このような国際河川のために，バングラデシュ国内だけの降水だけで，その水位や流量が決定されるわけではなく，ガンジス河にはインド，ネパール，ブラマプトラ河には遠くチベットのラサ付近の降水までも影響することになります．また，インドはガンジス河の水量調節と他地域への利水のためにファラッカ堰を作ったため，バングラデシュへの水の調節供給がインドとの政治問題にもなっています．バングラデシュの洪水の調査研究をする上で，インドやネパールなどの近隣諸国の気象資料が必要となるのは，日本のような島国とは違って，大陸の国々の場合，このような自然条件や政治的背景などの事情があるからです．

3. バングラデシュの気象観測

バングラデシュには，気象観測関係の組織としては，地上気象観測や高層観測などの一般の気象観測を行うバングラデシュ気象局 (Bangladesh Meteorological Department, BMD)，河川の水位や流量，降水量など水文観測を行う水開発局 (Bangladesh Water Development Board, BWDB)，気象衛星などの衛星からの遠隔観測を行う宇宙遠隔観測研究局 (Space and Remote Sensing Research Organization, SPARSO) があります．気象衛星の受信については，これまで，SPARSO が行ってきたが，最近，BMD にも気象衛星の受信装置が導入されました．2. で述べたように，なんとと言っても「水との共生」を必要とされる国柄だけあって，水資源省の中に BWDB のほかに水政策局 (Water Resource Planning Organization, WARPO) があります．

BMD では，地上気象観測所が全国に 33 地点，ラジオゾンデを使った高層観測所が 3 地点（実際に観測しているのはダッカの 1 地点のみ），トランシットを覗いて気球の動きを



第 2 図 バングラデシュ気象局の地上気象観測地点

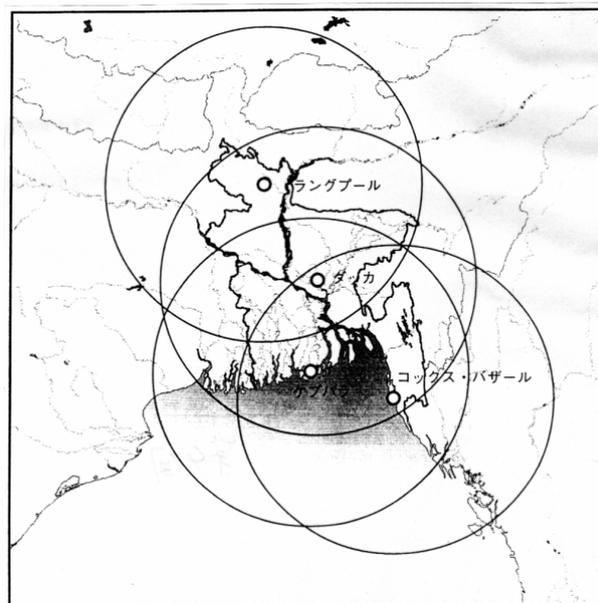
追っかける高層風観測所が10地点です。地上気象観測は毎日3時間毎に、風向風速、気圧、気温、相対湿度、降水量を測定しています。また、1日ごとに、最高気温、最低気温、日照時間も記録されます。この観測地点を第2図に示します。この観測は各観測所の観測員によってなされ、観測後すぐに無線を通して、口頭でダッカのBMDの本部に送られてきます。この資料はBMD本部でまとめられ、ニューデリーにある世界気象機構(World Meteorological Organization, WMO)のRegional Centerに電送されます。このセンターに集められた南アジアの気象資料は解析されて、あらためて各国の気象本部に再送付され、各国において天気予報が発表されるわけです。

最近になって、BMDの気象観測体制が大きく変わりつつあります。これまでは、3時間毎の地上気象と1日1回のダッカの高層観測、SPARSOから提供される日本の気象衛星(GMS)、サイクロン監視用にKhepuparaとCox's Bazarの2つの気象レーダーエコーがすべての資料でした。日本の無償援助に基づいて、ダッカのレーダーがデジタル化され、サイクロン監視用の沿岸部のレーダーがダッカでも実時間的に監視できるようになりました。北部のRangpurに気象レーダーが新設され(第3図)、バングラデシュはこの4つのレーダーでカバーできることになりました。この状況を、第4図に示します。このように気象レーダーが国土全体をカバーできるという意味では、日本と遜色ない体制が取れることになったわけです。気象衛星は日本の気象静止衛星(Geostationary

Meteorological Satellite, GMS)「ひまわり」が受信でき、近い将来打ち上げられるMT-SATも受信できるようになります。また、これまでは受信できなかったインドの気象衛星INSATも昨年からはFAX imageであるけれども、受信できるようになりました。その受信アンテナを第5図に示します。日本のGMS「ひまわ



第3図 Rangpur レーダーのレドーム



第4図 バングラデシュの4つのレーダーによるカバーレージ

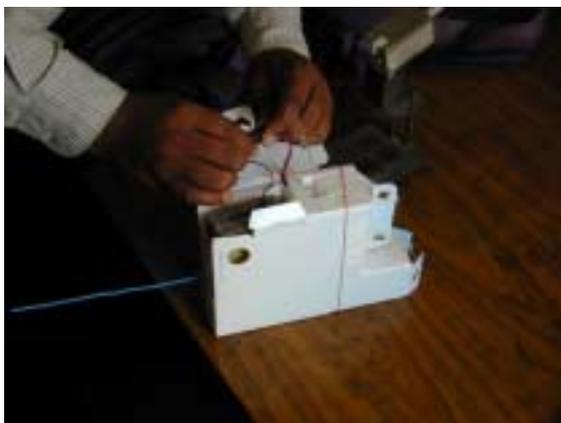
り」は東経140度の赤道上36,000kmの上空から、雲の写真を時間毎に撮影しますが、バングラデシュはその西の端にとっても歪んだ形でしか表示されません。それを無理やり座標変換してバングラデシュが中心になるように表示されます。それに対して、INSATはほぼ真上に位置するため、この衛星写真の情報の方が有用ですが、受信できるのはimageだけであり、研究用には向きません。レーダーについては、連続観測をするとマグネトロンが消費が大きく数年しか持たないので、地上気象観測とあわせて、3時間に1度の観測しか実施していません。これでは、雷雨や竜巻などのメソ気象擾乱を監視することはできません。日本などの先進国同様に連続した観測がのぞまれます。



第5図 気象衛星の受信アンテナ

4. 夏季モンスーン期の高層観測

高層気象観測は全世界で一斉に実施されていて、日本では、高層観測を実施している気象官署は12カ所あり、1日2回のラジオゾンデ観測と2回の高層風観測を実施しています。しかし、バングラデシュでは高層観測はダッカ1カ所のみで、1日1回しか実施されておられません。バングラデシュが、洪水、サイクロンなどの気象災害をしばしば受けることを考えると、このような基礎的な観測をしっかりとやって、災害を発生させる原因となる気象現象をしっかりと理解することが、もっとも大事なことです。このため、気象研究グループは、1999年から1日1回の観測を4回ないし8回実施する特別観測計画を立てて、バングラデシュ気象局の協力の下、実現できることになりました。最初の年には、当時大



第6図 ラジオゾンデ

気災害部門の寺尾徹さん（現在、大阪学院大学）が集中観測を実施しました。2000年からは、気象観測用に科学研究費の予算がついて、本格的に観測が実施できることになりました。

一夏に70個ほどのラジオゾンデと気球、および水素ガスを日本側から供給し、1日1回のラジオゾンデによる高層観測を4回ないし8回に増やすことにしました。この高層観測は日本と同じように、水素ガスを入れた気球にラジオゾンデを取り付けて、

高さ約16 kmまでの上空の風，気温，湿度を測ります．実際の作業は，現地の気象局のスタッフが行い，それに立ち会うと言うことが我々の仕事でした．とくに，夜間の観測は，我々に対して，日本大使館から夜間の外出を控えるようにとの要請があったので，バングラデシュ気象局に全面的にお願いし，快く協力していただきました．第6図にはラジオゾンデ，第7図には気球の打ち上げのようす，第8図には受信機を示します．この観測に，京都大学防災研究所からは，附属災害観測実験センターと大気災害部門の大学院生，ほかに東京大学大学院理学系研究科，大阪学院大学から教官と大学院生が観測に参加しました．去年は，6月15日から約1ヶ月間，実施しました．今回の大きな目的の一つは，これまで，プリントアウトしかなかったデータをコンピュータにファイルの形で残し，研究資料として保存できるようにすることでした．バングラデシュ気象局のスタッフに操作を修得してもらうことでした．こうすることによって，観測後の資料の利用が飛躍的に効率よく行えるようになります．しかしながら，ラジオゾンデの受信機に新たなコンピュータを接続するため，内部仕様を変更する必要があり，とても神経を使う仕事でした．接続したコンピュータを第9図に，その指導のようすを第10図に示します．

こうして，これまでは解析できなかった降雨の日変化がわかるようになり，バングラデシュのような小さな国の中でも，大きく異



第7図 ラジオゾンデの打ち上げ



第8図 ラジオゾンデの受信装置



第9図 新たに導入したコンピュータシステム



第10図 受信システムの指導のようす

なっていることが明らかになりました。その結果のいくつかを紹介します。第11図はGMSによる雲の発生と平均日降水量の時系列(Ohisawa, 1997), 第12図は温位と比湿, 風などの日変化のようすを示します。第11図に示すように, 雨期といってもいつも大雨が降っているわけではなく, 活発な時期(Active period)と不活発な時期(Break period)があることがわかります。第12図からはいろいろな気象要素の変動に日変化が存在し, それが高度ごとに変化していることがわかります。

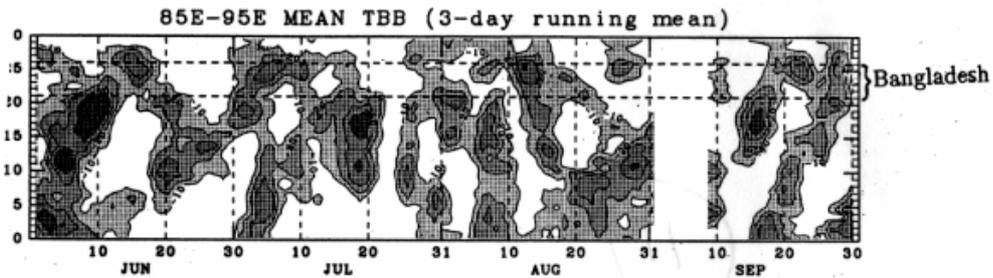
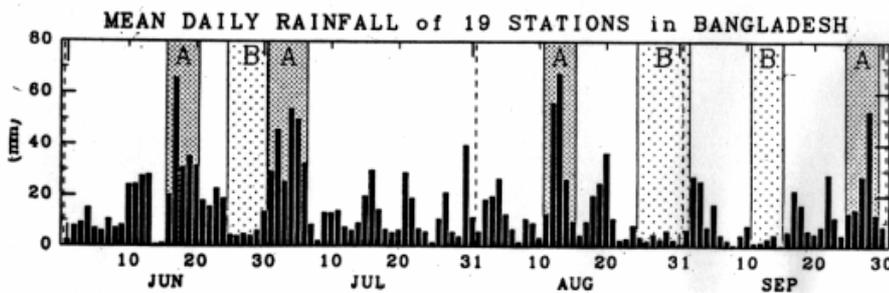
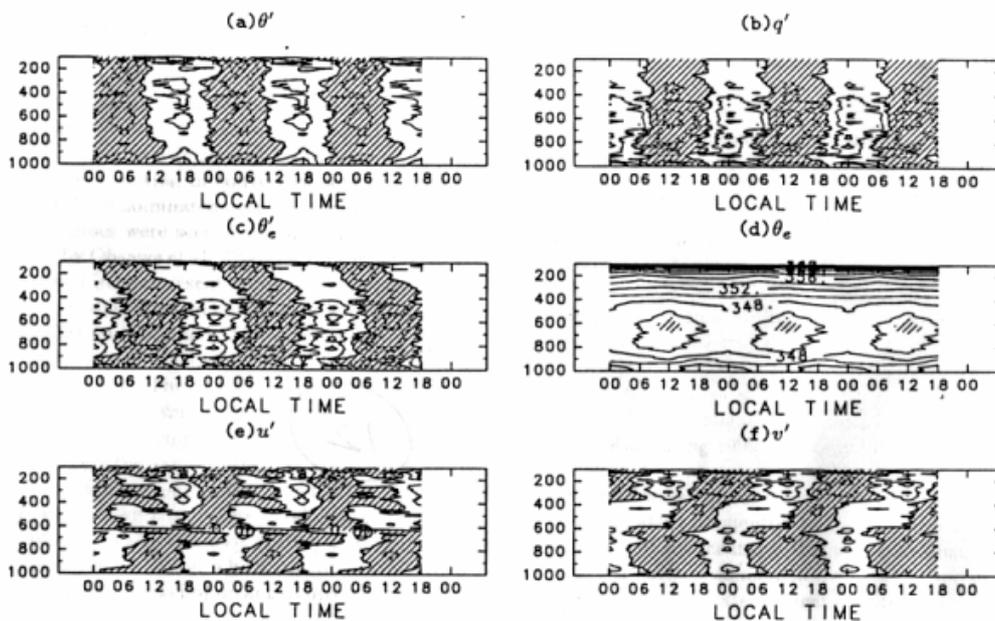


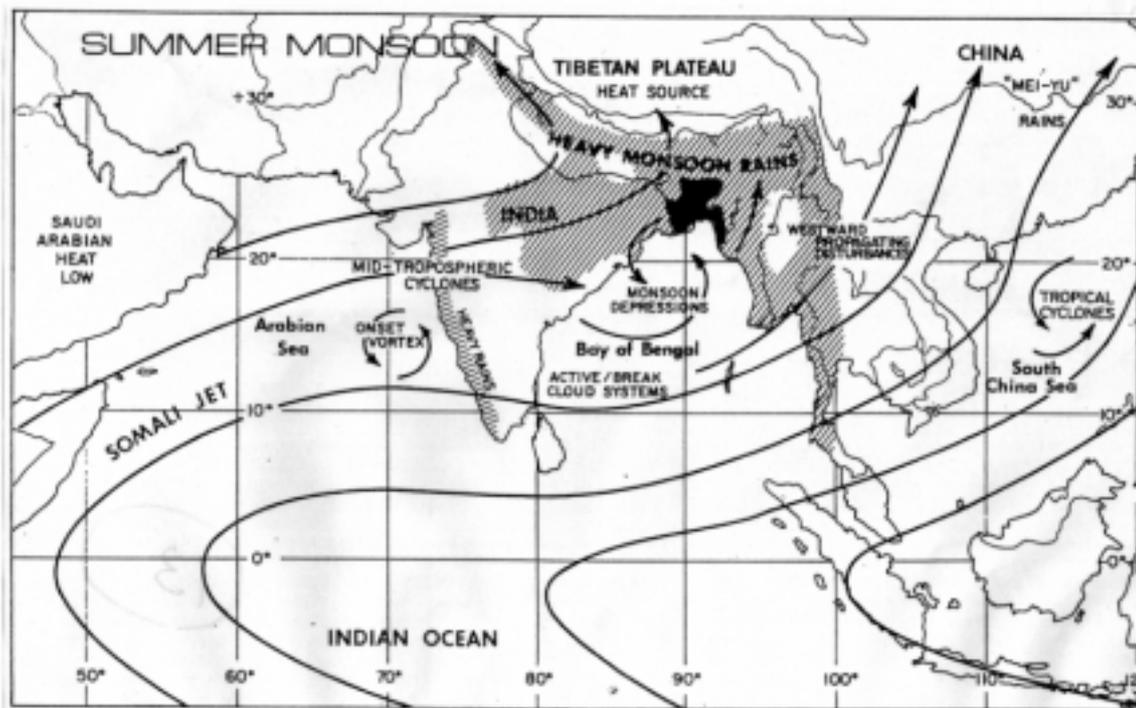
Figure 1: Time-latitude cross section of mean TBB for 85°E - 95°E longitudinal zone.



第11図 GMSによる雲の発生と移動, および, 日平均降水量の時系列



第12図 高層観測による気象要素の日変化. a)温位, b)比湿, c)とd)相当温位, e)東西風, f)南北風



第 1 3 図 アジアの夏季季節風のシステム

5 . おわりに

このように、バングラデシュは大規模な夏季モンスーン（第 1 3 図）による洪水、ベンガル湾を発生源とする熱帯性低気圧であるサイクロンのほかに、中小規模擾乱である雷雨や竜巻などによる多彩な気象災害の発生が見られるところで、「気象災害大国」と呼んでも過言ではないように思われます。このように、気象災害の発生が多いにもかかわらず、バングラデシュには、気象学を専門とする研究者がほとんどいません。「気象災害大国」であるバングラデシュに対する協力は、レーダーや気象衛星の受信装置などのハードウェアを提供することだけでなく、それをどのように利用すべきであり、それがどう気象災害の軽減につながるのか、を技術移転する対応が望まれます。我々としては、「気象学」の確立を将来の目標にしています。識字率が 3 0 % に満たないバングラデシュで、このような目標は無謀なことのように思われますが、結局のところ、いかに人材を育成して、バングラデシュ陣による天気予報、洪水対策ができることが必要なわけです。

現在、バングラデシュで唯一の気象学者と見なせるのは、バングラデシュ工科大学 (Bangladesh University of Engineering and Technology, BUET) 物理学教室のナズラル・イスラム (Md. Nazrul Islam) 博士です。1 9 9 8 年から、私たちの共同研究者で研究に当たっています。彼はダッカ大学理学部物理学科を卒業、北海道大学大学院理学研究科博士後期課程で博士号を取得し、帰国後すぐに BUET の助教授になったかたです。現在は、主として物理学を講義していますが、彼の将来の夢は、バングラデシュの大学に気象学研究のための研究室を作り、気象学を専攻する研究者を養成することです。2 0 0 0 年、防災研究所の災害観測実験センターに 3 週間ほど滞在し、さらに 2 0 0 1 年 9 月から 1 年間、秋

田県立大学に研究員としてこられていて、防災研究所にも時々、来られます。彼の夢を実現すべく、これからも、バングラデシュの「気象災害」の調査研究を続けていきます。

6. 付録 私の見たバングラデシュ

(河内伸治の感想 - 技術室通信 No.105 より再掲)

この旅は、わたしのはじめての海外渡航で予備知識も私なりに仕入れて心づもりはしていったのですが、ダッカ空港からはびっくりの連続でした。まず空港を出るとバックネットのようなフェンスに人間が一杯（人が壁になっているという状態）でわめいていました（それはタクシーの客引きでした）。すぐ出迎えの「ICA」の職員がとんできてスリに十分気を付けろとの指示がありました。

それからホテルまでのタクシーですがドライバーの運動神経だけがたよりという感じでした。歩行者も慣れたものでそういった車の中をすり抜けるように歩いていました。渋滞で停車しますと、ものもらいの人たちがよってきてお金を催促してきます。目をあわすとせがまれるので身が縮む思いでした。また日本でも以前2サイクル梶子ハンドルの軽3輪がありました。白い排気ガスがもうもうとマフラーから出ていて私はのどが痛く、林先生、吉野君は滞在中咳どうしてでした。滞在期は雨期でしたが乾期はもっとひどいそうです。

この国に着いて観測関係等への挨拶廻りが終わり、さあ明日から仕事ということになったときに隣町で爆弾テロがあり、20人前後亡くなって2日間外出禁止ということになりました。大きい交差点で渋滞がひどいなか交通整理の警察官がじれて、手当たり次第に力車（自転車で動く人力車）のタイヤを釘のようなもので刺しているのを見ました。街全体はスラム街のなかに近代的なビル（JICAバングラデシュ事務所、コンピュータシティビル）が建っているといった状態です。また失業者が多らしく朝から案外身なりのきちっとした男達が道路のあちこちに立って話をしていました（外国人となるとめずらしいらしくじろじろ見られて気持ちが悪かった。私も潮岬では見てしまいましたが）。

また毎日の食事ですが最初は気合いもはいついてホテル食を食べていたのですが1週間目にたまらなくなり、日本料理を出す食堂に行って来ました。ざるそばがでて、水洗いした水は大丈夫かなと思いつつも食べてしまいました。翌日の朝食から食べると下痢といった状態で3日間ほど水だけという情けないことになってしまいました。こういったことを体験しますと暑いときに冷たい水をがぶ飲み出来るということだけでも大変な贅沢に思えて日本という国は案外素晴らしいなと思いつつも帰ってきました。

参考文献

- Ahmad, M.(1989) : Flood in Bangladesh, Community Development Library, pp.276.
- Ali, M.M., M.M. Hoque, R. Rahman and S. Rashid : Bangladesh Floods; Views from Home and Abroad, The University Press, pp.285.
- Anthes, R.A.(1982) : Tropical Cyclones; Their Evolution, Structure and Effects, Meteorological Monographs, Vol.19, American Meteorological Society, pp.208.
- Hayashi, T., J.Katsura, M.Salehin and M.F.Qayuum(1997b) : The Tornado in the Tangail District of Bangladesh, on may 13 of 1996., Proc, International Symposium on Natural Disaster Prediction and Mitigation, Dec. 1-5, Kyoto, Japan, pp.439-446.
- IFCDR and JICA(1997) : Investigation of the Mechanism of Flash Floods, Final report, Japan Bangladesh Joint Study Project on Floods, Topic 2, pp.153.
- Katura, J.(ed.) (1992) : Meteorological Characteristics of the 1991 Cyclone, Storm Surge and Severe Wind Disasters Caused by the 1991 Cyclone in Bangladesh, Res. Rep. on Natural Disas. by Japanese Ministry of Ed. Sci. and Clu.(No.03306020), pp.10-34.
- 村本嘉雄編(1988) : 1987 年モンスーン期の豪雨によるバングラデシュの洪水氾濫災害の調査研究, 科学研究費報告 ,
- Ohsawa, T., T.Hayashi and Y. Mitsuta(2000) : Intraseasonal Variation of Monsoon Activities Associated with the Rainfall during the 1995 Summer, J. Geophys. Res., Vol.105, No.D24, pp.29445-29459.
- Ohsawa, T., H.Ueda, T.Hayashi, A.Watanabe and J.Matsumoto(2001) : Diurnal Variation of Convective Activity and Rainfall in Tropical Asia, JMSJ, Vol.79, No.1B, pp.333-352.
- Terao, T., T. Hayashi, M.N. Islam, and J. Matsumoto(2001) : Diurnal Variation of the Atmospheric Vertical Structure over Bangladesh Region Observed by Rawin Sonde Intensive Observation, Prco., ISAM3 (to be published).