

発展途上国の気象災害

— 南アジアの豪雨と洪水、サイクロン、竜巻 —

京都大学東南アジア地域研究研究所連携教授 林 泰 一

1. はじめに

地球の大気は、大は地球規模から小は陽炎まで、時間空間的に多種多様な現象を内包している。これらの種々の大気現象は相互に非線形な関係にあり、お互いの影響を単純に理解することはなかなか難しい。図-1に2020年7月9日の日本の気象庁の気象衛星「ひまわり」による全球の画像と、同日の同時刻のインド気象局の気象衛星“INSAT3”によるアジア地域を拡大した図を示す。これは、日本の梅雨末期の集中豪雨による甚大な被害が発生し、「令和2年7月豪雨」と名付けられた事例である。この日本の梅雨前線に伴う雲域は、はるか西方のインドの北東部を起源として中国の南部を経て、日本全体を覆うに至る東西6,000ないし7,000kmにわたる巨大な雲の列の一部である。この中に転々と500km程度の白く輝く雲塊が点々と存在する。これらの雲塊は、起源のインドから雲塊自身が移動するのではなく、西から東へ向かう大

気の波動に伴って、誕生しては消滅することを繰り返すので、一見、連続した画像では雲塊が西から移動しているように見える。このように、日本の梅雨は日本だけの現象ではなく、夏季のアジア域のモンスーンという大きな大気の現象の一部としてとらえることができる。

ここでは、われわれが、1990年代から関わってきた南アジア、とくにバングラデシュとインドの気象災害の実態につ

いて、記述する。この地域の「豪雨と洪水」、「サイクロン」の二大災害に加えて、最近被害が顕著になってきた竜巻などの突発性気象災害についても述べる。

2. 豪雨と洪水

南アジアは北半球の亜熱帯および熱帯地域に位置し、その季節は日本とは大きく異なる。インド亜大陸では、モンスーントラフに伴う雨域が、5月末にインド

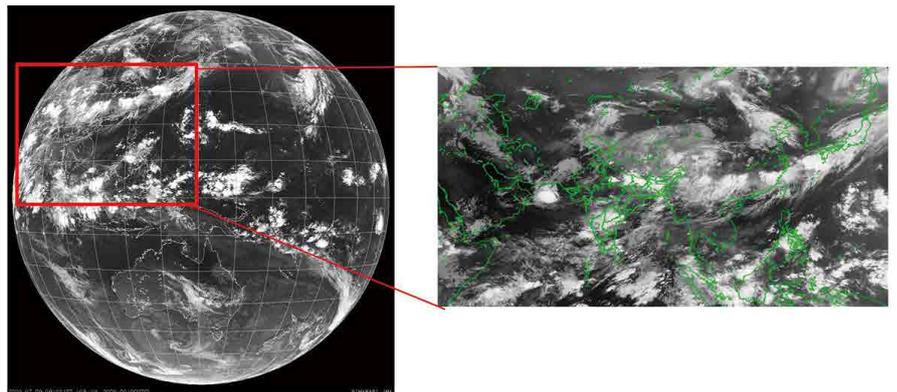


図-1 日本の梅雨期のアジアの気象衛星画像（日本時間2020年7月9日10時）

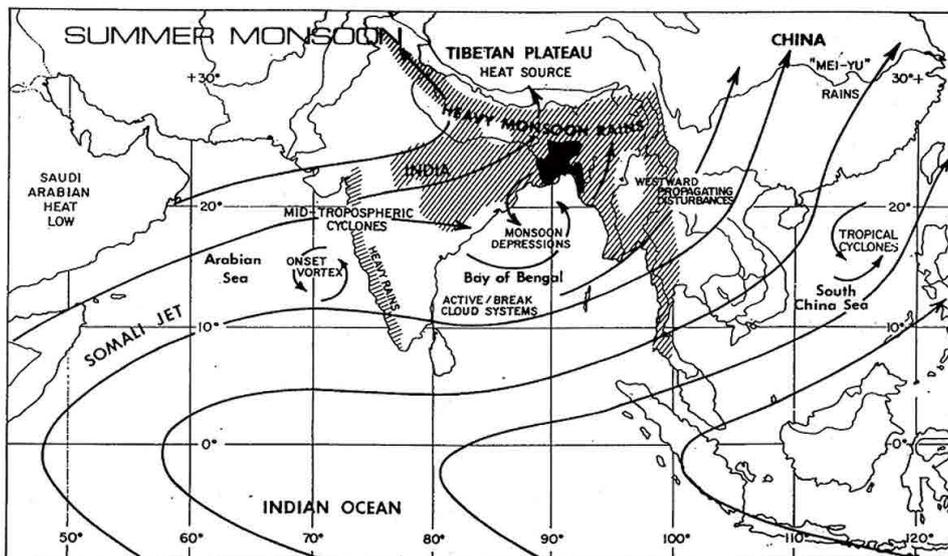


図-2 夏季アジアの雨季の風系と顕著な降雨域

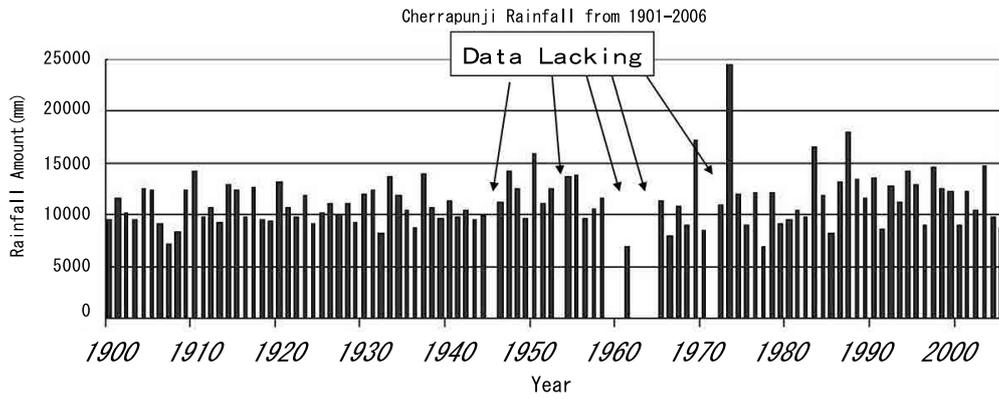


図-3 1900年から2006年のインドのメガラヤ州チャラプンジにおける年降水量の変化

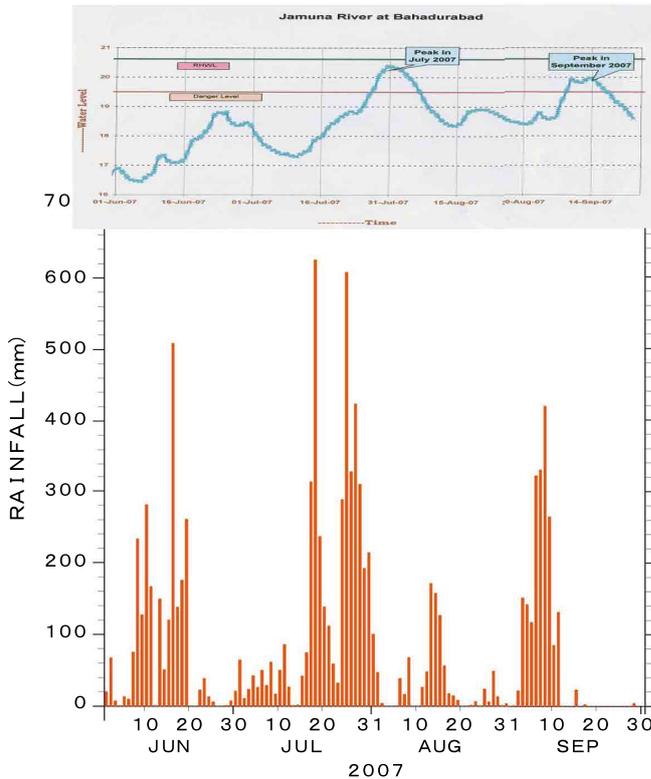


図-4 2007年雨季のインドのメガラヤ州チャラプンジの日降水量の変化とブラマプトラ河の水位の変化

れやすくなる。このため、インド亜大陸の北東部は、世界最大級の豪雨地域となる。

バングラデシュの北に接するインドのメガラヤ州は、世界最大級の降雨地域であり、シロン高地（高度約1,800 m）南麓のチャラプンジ（現在、インドではソーラと呼ばれる）では、ほぼ毎年、年降水量は10,000mm（=10 m）近くに達する。図-3に、1900年から2006年にわたるチャラプンジの年降水量の変化を示す。この105年間降水量の平均値は11,261mmである。チャラプンジでは、1860年8月から1861年7月にかけての1年間の降水量は、26,461mmを記録し、これは1年間の降水量の世界最高記録である。この地域の豪雨は雨季の期間中、毎日継続して大雨が発生しているわけではない。図-4に2007年の夏のモンスーン季のチャラプンジの日降水量の変化を示すが、大量の雨が降る活発期と雨が少ない休止期がはっきり区別できる。活発期には日降水量が500mm以上に達する事例があるのに対し、休止期は100mm以下の日降水量が続く。このような降雨の活発期と休止期が交互に発生する。この周期は10～20日であることが観測から明らかになった。インド亜大陸全体では、30日から60日の周期が顕著であるのに対し、このインド亜大陸の北東部では、2つの周期を持つ降雨が発生する。この降雨活動の活発期と休止期の変化とブラマプトラ河の水位の変化を比べてみると、活発期の数日から1週間後に水位の増加が見られる。この年には危険水位を2回越えた。

ベンガル湾の奥のバングラデシュの地形は、西からガンジス河が流入し、北からチベットを源流にもつブラマプトラ河

南部から北上しはじめて7月にはインド北部やネパールまで達し、亜大陸全体が雨季に入る。7月から9月が雨季の最盛期である。その後、9月末から10月はじめに、雨域はインド北部から南下しはじめて11月頃にインド亜大陸から退出して、雨季が終了する^{1,2)}。図-2にアジアの夏季の最盛期のモンスーンシステムの風系と顕著な豪雨地域を示す。インドモンスーンの風系は、赤道の南の南半球の東風が赤道を越えて、東向きに方向を変える。アフリカ大陸の東で赤道を越えてインド亜大陸に向かう気流は、熱帯

のアラビア海の海面温度の高い海域で十分な水蒸気の供給を受けて、インド亜大陸西海岸の西ガーツ山脈にぶつかって、ここで大量の雨が降る。亜大陸の中央のデカン高原の上ではあまり雨は降らず、さらに東に移動してベンガル湾の海上に出て、再び多量の水蒸気の供給を受ける。ベンガル湾を取り巻く大規模な地形は、北にはヒマラヤ山脈、東にはミャンマーのアラカン山脈があり、風系の進行方向が妨げられて、気流は上昇し、大気中の水蒸気から雨滴が形成される。また、ベンガル湾ではモンスーン低気圧が形成さ

がインドのアッサムから流入し、さらに東のミャンマーとの国境からはメグナ河が流入する。バングラデシュは、この3つの大河の流入により、運ばれる土砂で形成されているため、国土のほとんどが平地である。バングラデシュの豪雨に加えて、シロン高地の大量の降水が南斜面を下って、バングラデシュ北東部に流入し、ほぼ毎年雨季には大規模な洪水が発生する。図-5は2007年のバングラデシュの洪水時の様子である。青い部分が洪水により冠水した地域で、この年には最大で国土の60%が冠水した。3大河川の流域に洪水が発生していて、特に北東部のシレット地域では広大な面積が水没した。

この大規模な洪水によって、道路や鉄道の線路が寸断され、頻繁に交通の障害を引き起こす。また、冠水地域では家屋が浸水するため、衛生状態の確保維持が困難になり、コレラなどの下痢疾患の感染症が流行することがある。この地域の雨季の月降水量とバングラデシュの首都ダッカの下痢疾患との関係を調べてみると、両者には明らかな相関があり、総降水量の増加に対して、感染者の数は増加する。一方、この豪雨によって発生する洪水は弊害ばかりもたらすわけではない。図-6には、バングラデシュにおける1947年から2000年までの年ごとの洪水発生面積と米の生産量の変化を示す³⁾。一般に洪水面積が増すと翌年から米の生

産量が増加する傾向がある。とくに、かつてないほどの大洪水が発生した1988年や1998年にはその一年後の米の生産量の増加が著しい。これは、古代エジプトでナイル川の氾濫で、この地域の農業生産が上がったことと同じように、洪水によって表土が入れ替って肥沃になり、

米の生産量が大幅に増えたと考えられる。また、河川の水量の増加で、魚種の数と漁獲量の増加も報告されている⁴⁾。このように、バングラデシュの住民にとって、「豪雨と洪水」はほぼ毎年発生し、昔から「水との共生」が日常の生活に密着している。



図-5 2007年のバングラデシュの雨季の洪水の状況

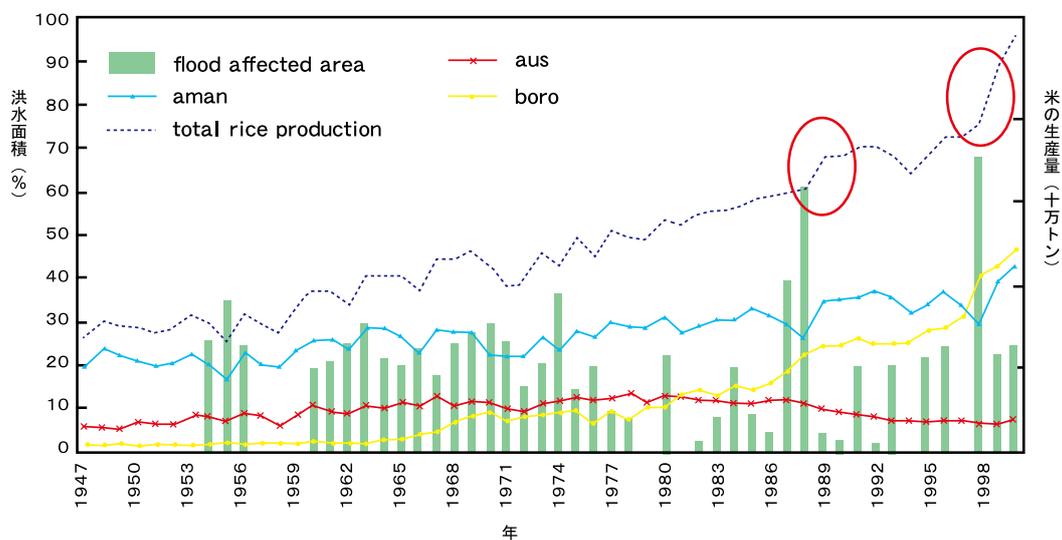
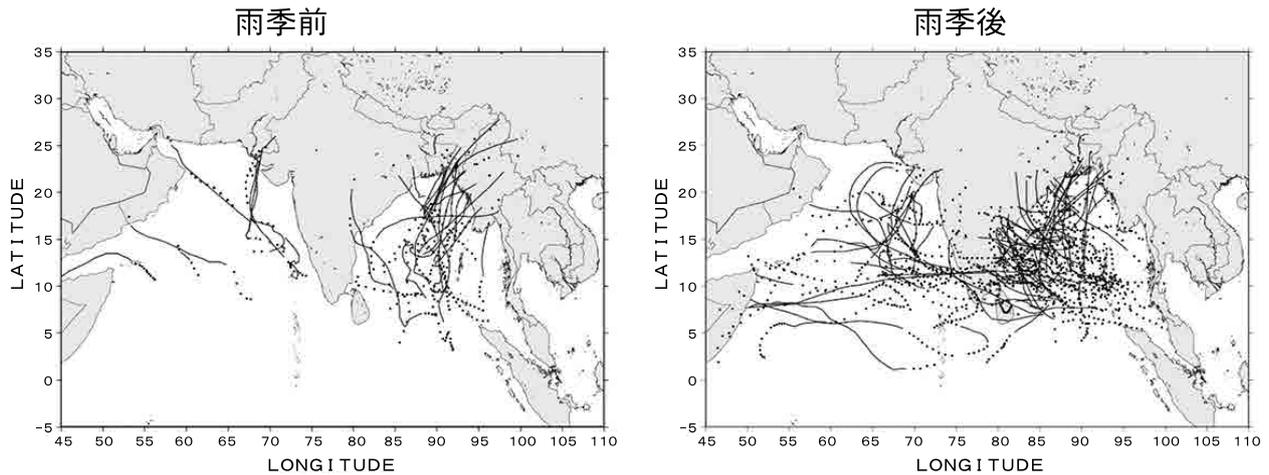
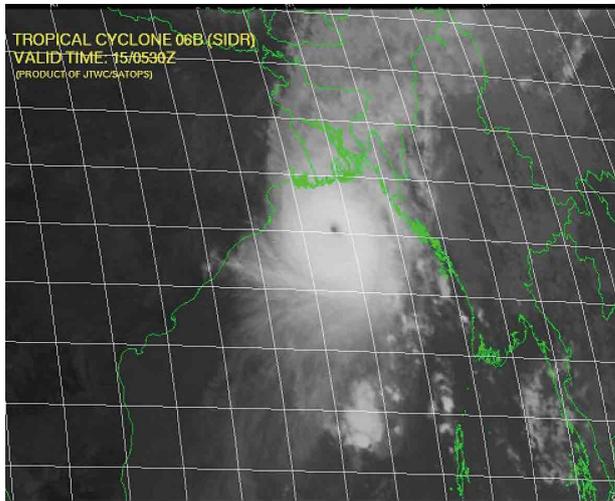


図-6 バングラデシュにおける1947年から2000年にかけての洪水面積と米の生産量の関係



図ー7 北インド洋の雨季前と雨季後のサイクロンの経路（1979年から2007年）



図ー8 サイクロン“Sidr”の気象衛星画像（インド気象局によるインド時間2007年11月15日6時30分）

るものが多く、雨季後には西進してインドの東海岸に上陸するものと北上してバングラデシュに上陸するものが多い。ミャンマーに上陸したサイクロンは4個で、この期間ではすべて雨季前であった。

ベンガル湾奥のバングラデシュでは、東パキスタン時代の1970年に、サイクロン“Bhola”が南東地域に上陸し、30万人とも50万人ともいわれる死者行方不明者が出た。この災害は、近代以降で最悪の自然災害の一つであり、当時の西パキスタン政府が十分な災害援助対策をしなかったため、東パキスタンは反発して1971年のバングラデシュ独立の引き金のひとつになったともいわれている。バングラデシュでは、独立後も数年ごとにサイクロンが沿岸に上陸し被害を及ぼした。WHOのEM-DATデータベース⁶⁾によれば、1991年の“Gorky”（別名：“Killer cyclone”）では、約14万人の死者行方不明者が出た。被害の原因は、サイクロンの上陸がほぼ満潮時で、高さ8mを越えるような高潮がバングラデシュ南東部の沿岸に発生したことによる⁷⁾。2007年11月15日には、サイクロン“Sidr”がバングラデシュの南西海岸に上陸し、やはり高潮が発生して約4,200人の死者行方不明者を出した。図ー8は、“Sidr”のインド気象局の気象衛星画像である。サイクロンの中心に明瞭な眼が見え、非常に発達した状態で、バングラデシュに上陸した。写真ー1は“Sidr”のバングラデシュ上陸3日後に撮影された被害状況の写真で、沿岸部のマングローブ林は完全に壊滅、家屋も全壊した。サイクロン“Sidr”の経路は、1970年と1991

3. サイクロン

サイクロンは、北インド洋で発生する熱帯低気圧である。日本の「台風」や北アメリカの「ハリケーン」と同様に、海面水温が高い熱帯の海で発生し、強風や大雨を伴う構造を持ち、それが一定の強さになると「サイクロン」と呼ばれる。南アジアでは、インド亜大陸の西のアラビア海と東のベンガル湾の両海域でサイクロンが発生する。1977年から2007年の31年間の統計では、サイクロンの年平均発生数は、アラビア海で1.6個、ベンガル湾で3.1個である。ベンガル湾では毎年2～6個発生している（グアムにある米軍の合同台風警戒センター（JTWC）の資料⁵⁾による）。最大風速が64ノット（33 m/s）以上の勢力の強い

サイクロンの発生数は、アラビア海で0.3個、ベンガル湾では1.0個であり、強いサイクロンはベンガル湾でより多く発生する。月ごとのサイクロンの発生数は、11月に最大で27個、ついで10月に24個、5月はそれに次いで17個となっている。つまりサイクロンの発生する季節は、日本を襲う西太平洋の台風とは異なって、4月から5月のプレモンスーン期と10月から11月のポストモンスーン期に2つのピークがある。前節のとおり、この地域の6月から9月は夏季の雨期であり、この時期はサイクロンの発生は少ない。これは、モンスーン循環によって大気の下層と上層の風の動きが大きく異なるためである。図ー7に31年間の雨季前と雨季後のサイクロンの経路を示す。雨季前には北上してバングラデシュに上陸す

年の2つのサイクロンに比べて西よりで、上陸が世界最大のマングローブ林であるシュンドルボン（世界遺産で自然保護地域）であり、住民が少ないことが、高潮高波による人的被害が比較的少なかった理由のひとつである。図-9に、被害の分布を示す。著者は、1991年のサイクロンと2007年の“Sidr”の両方の被害現地調査に参加して、この被害実態の差を目の当たりにした^{8,9)}。

これらのサイクロンを契機に、バングラデシュでは、先進国の援助もあって、サイクロンシェルターと呼ばれるコンクリート製の高床式避難施設の建設に取り組み、沿岸部の村々に建設された。このサイクロンシェルターは高床式で、サイクロンの通過時に、500人から1,000人が避難できる。また、バングラデシュ気象局は、サイクロンの接近時に気象衛星の画像に加えて、沿岸部のドプラーレーダ2台による雨雲のエコーの画像からサイクロンの移動を監視して、避難勧告をいち早く出すことができるようになった。この2台を含めて、バングラデシュ全体をカバーする5台の気象レーダはすべて日本の援助で完成した。このようなサイクロンに対する対策が功を奏して、2020年5月に上陸したサイクロン“Amphan”の際の死者行方不明者は14名に激減した。

バングラデシュで大きな被害が発生したサイクロン“Sidr”の約半年後の2008年5月2日から3日にかけて、サイクロン“Nargis”がミャンマーの南西海岸地域に上陸し、甚大な被害をもたらした。この“Nargis”は、ベンガル湾で発生し北緯15度ぐらいを東進するという非常に稀な経路をとって、ミャンマーの南東沿岸に上陸した。この時期には、サイクロンを移動させる上空の風は、プレモンスーン期の西風から南よりに変わるため、通常サイクロンは北上することが多い。“Nargis”の場合に東進した理由の一つは、上空の偏西風が通常より南方まで吹いていたためである可能性が考えられる。なお、先のEM-DATデータベース⁶⁾によれば、ミャンマーの20世紀中のサイクロンによる死者数の記録としては、1926年5月19日の2,700人、1968年10月25日の1,070人、1936年4月21日の1,000人があるが、今回の“Nargis”の被害が際立って大きくなっている。恐らくは大規模な高潮を発生させた今回の“Nargis”のような経路をと



写真-1 サイクロン“Sidr”上陸時のバングラデシュ、シュンドルボンの被害（2007年11月18日、朝日新聞加藤氏撮影）

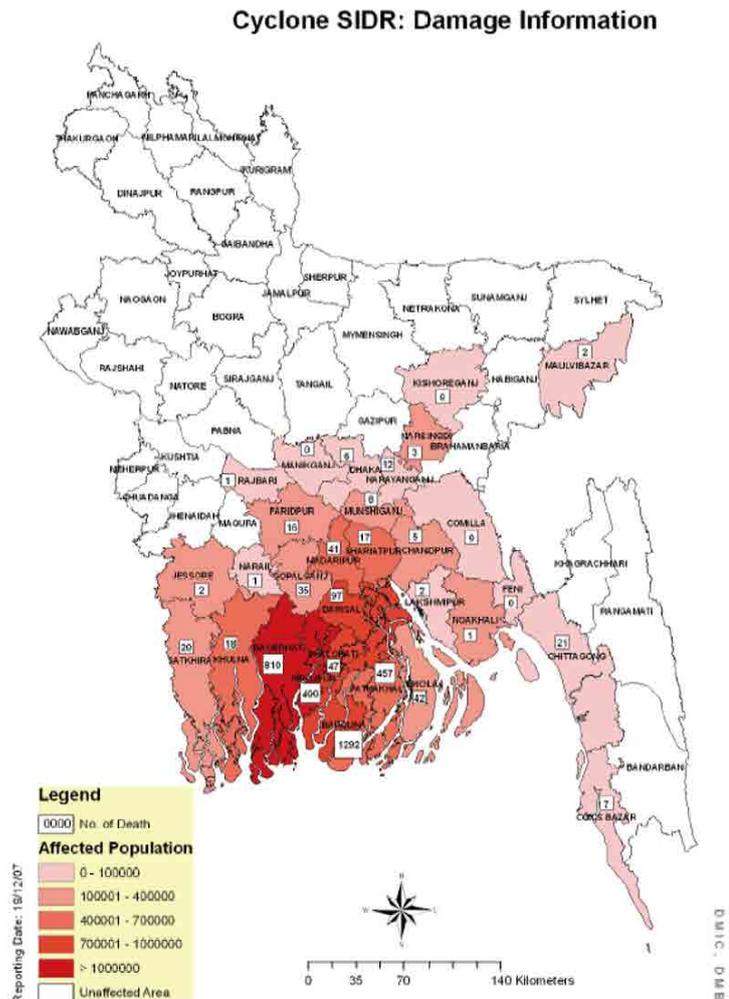


図-9 サイクロン“Sidr”上陸によるバングラデシュの被害状況

たサイクロンが過去100年間なかったためと考えられる。

バングラデシュでのサイクロン“Sidr”の時と同様に、高波、高潮によって、イラワジ川河口の低湿地で大きな被害が発生し、死者数78,000人、行方不明者56,000人とされているが、さらに大きな被害であった可能性も高い。この数は、バングラデシュの1991年のサイクロン“Gorky”の時の死者行方不明者とほぼ同じである。バングラデシュとミャンマーではほぼ同時期のサイクロンで、大きな差が出たのはなぜだろうか？バングラデシュでは、しばしばサイクロンが上陸するため対策が進んだのに対し、バングラデシュに比べると、ミャンマーに上陸して高潮をもたらすサイクロンがほとんどなかったことから、サイクロンシェルターなどの避難場所も作られてこなかった。また、ミャンマーでは当時の軍事政権下で、気象局のレーダや高層観測設備は老朽化しており、情報統制のもとで通信設備が整備されておらず、警報の伝達を遅らせた。

その後ミャンマーでは民主化後に、日本による気象レーダ3台の建設、サイクロンシェルターの普及や通信設備の充実など防災体制が急激に進展してきていて、2013年のサイクロン“Mahasen”接近時には被災者が出ていない¹⁰⁾。

このように、サイクロン災害の軽減には、十分な現象の監視と予測、適切な情報伝達による避難勧告と避難場所の確保により、被害をはるかに少なくすることができることは、バングラデシュやミャンマーの事例が示している。

4. 南アジアの最近の気象災害

南アジアのバングラデシュでは、これまで長い間、豪雨による洪水とサイクロンの強風や高潮が大きな気象災害であった。長年「水との共生」の下で生活してきた人たちにとって、ある程度の洪水は、農業や漁業の生産にとっては、ある意味不可欠なものである。サイクロンに対しては、近年、気象観測の充実でその移動の監視と予測が可能になり、警報情報の伝達が行き届くようになって、人的被害は激減した。しかしながら、これまで上記の災害の陰で、これまで軽視されてきた気象災害による被害が目立つようになってきた。「竜巻」などの突発的に発生するシビアローカルストームである。

この現象は、積乱雲が発達するような不安定な大気の状態です突然発生する。空間規模は10～100km、時間は数分から1時間程度で小規模で、その予測は大変難しい。同時に発生しやすい落雷では、死者が多く発生していて、インドでは2018年に2,300人が亡くなり、2020年5月にも100名を超える死者がでた。さらに、大きな降電を伴うことも多く、農作物への被害が数多く報告されている。降電は自動車の窓ガラスの破壊も引き起こし、交通機関の被害も多い。ネパールでは、これまで竜巻の発生がなく、被害が報告されていなかったが、2019年3月にネパール気象水文局始まって以来のトルネードが発生し、少なくとも18名の死者を確認した。現在の気象観測体制では高層気象観測による大気安定度の評価と、気象レーダによるストームを発生させる親雲の検出しか、予測ができない。被害軽減にはこれらの観測監視体制の充実が急務である。

5. おわりに

ここでは、南アジアの気象災害について概観した。読者の中には、この地域の気象災害には余りなじみがなく、それほど関心がない方も多いと思う。しかしながら、最初に述べたように、大気は地球を覆い、循環して、時間的にも空間的にも多種多様な規模の現象を内包している。また、現在のように地球規模での気候変動が進み、異常気象が各地域で頻発する時代になって、大気現象による災害が頻発する。

発展途上国の気象観測充実、大河川の洪水発生に対する緊急警報体制など、気象災害発生時の被害軽減のために、これまで、日本政府や国際協力機構（JICA）が果たしてきた役割は、国際的にも評価が高く、その存在感はとても大きい。近年、援助の形態が、単なる施設や設備のハード面の援助に加えて、人材育成などソフト面の対応が増えてきているのは心強い。

ただ、現在の地球規模の最大の課題である地球温暖化の個々の気象災害に対する影響は、定量的に評価できるまで知識が進んでいない。この分野のさらなる研究の進展を期待したい。

【参考文献】

- 1) Wang, B., 2006: Asian Monsoon, Springer, pp. 787. pp276.
- 2) Hofer, T. and Messerli, B., 2006: Floods in Bangladesh, United Nations University Press, pp. 468.
- 3) Asada, H., Matsumoto, J. and Rahman, R. 2005: Impact of recent severe floods on rice production in Bangladesh, Geographical Review, Vol. 78, No. 12, 783-793.
- 4) Ahmed, M., 1989: Flood in Bangladesh, Community Development Library, pp. 276.
- 5) Homepage of Joint Typhoon Warning Center, https://metocph.nmci.navy.mil/jtwc/best_tracks/
- 6) Homepage of EM-DAT <http://www.emdat.be/>, The international Disaster Database.
- 7) Bangladesh Centre for Advanced Studies, 1991: Cyclone' 91 An environmental and perceptual study. R. Hadar, A. A. Rahaman and S. Huq Ed., pp. 91.
- 8) Hayashi, T., 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. Science and Culture. (No. 03306020), 10-34.
- 9) 林 泰一、村田文絵、橋爪真弘、Md. Nazrul Islam, 2008: 2007年11月にバングラデシュを襲ったサイクロン「Sidr」の被害調査報告（速報）、自然災害科学、26-4, 391-396.
- 10) 田平由希子、川崎昭如、市原裕之2013: 民政移管後のミャンマー中央政府の防災体制と今後の課題、地域安全学会論文集、No. 21、189-198