

# バングラデシュ, スンダバン・イースト沿岸域において確認された 2007年11月15日サイクロン・シドルによる大規模浸食・堆積現象

七 山 太<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

地球は、古来より、氷期、間氷期などの激しい気候変動を繰り返し、それに伴い海面も大きく変動し、種の絶滅等の歴史的変動を繰り返してきた。特に、縄文海進時には海面が陸地に入り込み、複雑な入り江を持つ海岸線が誕生するなどした。その後、気候が安定したことにより、人類は農耕を始めて土地に定着し文明が発展を続けてきたと言われている。我が国においても沿岸域を中心に大きく文化・社会が発展してきた。しかし近年、産業活動など人為的要因による大気中の温室効果ガス濃度の増加により、我々人類は急激な地球温暖化に直面している。この地球温暖化問題を国際的に議論している「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」では、「少なくとも最近数十年における気温上昇のほとんどは、人為的な温室効果ガス濃度の増加による可能性が高い」と報告している。

大気の温度が上昇すれば、やや遅れて海水の温度も上昇し、それは海水の膨張を引き起こして海面を上昇させる。海面上昇はまた、海岸・低地の水没、海岸浸食の激化、河川と地下水への海水の浸入、潮汐の変化などの悪影響を引き起こし、自然海岸や沿岸域の生態系を攪乱して、水資源の喪失など様々な影響をもたらす。さらに海面上昇に伴い、津波や高潮 (storm surge) による沿岸災害のリスク増大が沿岸防災分野で盛んに論じられている。2005年8月アメリカ史上最悪の自然災害をもたらしたハリケーン・カトリナ (Hurricane Katorina) Category 5 (Saffir-Simpson Hurricane Scale: 以下SSHS), 最低気圧918mb, 平均風速45m/sによるニューオーリンズ市の高潮被害は世界を驚嘆させた。本邦においても、特に台風の強

大化に伴い、大阪湾、伊勢湾、東京湾の3大都市圏を中心として、1959年9月の伊勢湾台風 (台風15号, 国際名Typhoon Vera; Category 5 (SSHS), 最低気圧685hPa, 最大風速75m/s) 以来の大規模高潮災害が憂慮されている。

ところで、津波と高潮は共に大規模沿岸災害をもたらすが、その成因は大きく異なる。高潮のような大規模暴浪時の波動と長周期の津波によって生じる沿岸の浸食と堆積作用の痕跡について、両者が明確に区分できるかどうかは世界の堆積学研究者によって従来より注目されている (例えば、西村・宮地, 1996; Nanayama *et al.*, 2000; Tuttle *et al.*, 2004; Morton *et al.*, 2007)。しかし今日までのところ、両者に明確な差異が必ずしもあるとは言い切れない状況が続いている。

今回幸運にも筆者は、2007年11月サイクロン・シドルによるバングラデシュ、ベンガル湾沿岸、スンダバン・イーストにおける高潮の海岸に与える影響を観察する貴重な機会を得た。以下に、私の知り得た現地情報を皆様にご報告したい。これが今後の沿岸大規模災害研究の進展に多少でも寄与できれば幸いである。

## 2. バングラデシュという国は?

バングラデシュ (Bangladesh) 人民共和国は南アジアに位置し、インドとミャンマーに隣接するベンガル人からなるイスラム教国家である。同じイスラム教国家であったパキスタンの飛び地として存続していたが、1971年に分離独立し現在に至っている。

面積は14万4千km<sup>2</sup>、日本の国土の40%程度 (北海道の2倍程度) の面積に人口1億4,049万人が居住す

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: バングラデシュ, ベンガル湾, スンダバン・イースト, サイクロン・シドル, カトカ海岸, 沿岸浸食, 大規模堆積作用

る。よって、人口密度は982人/km<sup>2</sup> (世界第1位)と概算される。またこの国は世界最貧国の一つとして知られ、GDPは431USドル/人(2005年) 足らずである。国民の60%以上が農業に従事し、米の生産量は世界第4位であるが、食料輸入国となっている。識字率は49.6%と極めて高い。公用語はベンガル語であるが、イギリスの植民地支配を受けた歴史的背景があり、特に高学歴の人たちは英語が堪能である場合が多い。

バングラデシュは国土のほとんどが世界最大の沖積デルタであるガンジス・ブラマプトラ河デルタに立地する。その脆弱な立地条件故に、今回取り上げるサイクロンによる高潮災害常襲地帯であることのみならず、洪水、土壌・地下水汚染、海岸・河岸浸食、地震、その他、“自然災害のデパート”とも言える状況であることが世界的に知られている(海津, 1989; 岡, 2004)。特に、前述した地球温暖化に伴って、仮に現在の海面が1.5m上昇すれば、全人口の15%にあたる約2,100万人が影響を被り、国土の16%がダメージを受けることがUNESCOによって試算されている。

この国の貧富の差は著しく、特に首都ダッカ(Dhaka; 地元民は“ダカ”と発音)と地方との格差は歴然としている。今回のサイクロンによる高潮や洪水被害によって多くの難民がダッカに流入していたように見受けられ、街には路上生活者があふれ、治安も衛生も芳しい状況にはとても見えなかった。ダッカの都市人口は約2,000万人、首都圏(ダッカ管区)人口は約4,000万人を超える世界最大の過密都市であるが、今回の難民の流入を加えると、これを大きく上回るのであろう。なお、ダッカにおいて富裕層や外国人は、水難の危険性が比較的少ない微高地に高い塀に囲まれた居住区を作り生活している。その一方で、貧困層は河川沿いの低湿地帯にスラム街を作って生活している。

### 3. 歴史的に見たバングラデシュのサイクロン被害の傾向

ベンガル湾で発生する熱帯低気圧はサイクロン(Cyclone)と呼ばれ、発生個数は全世界の5%程と他の地域に比較して少ないものの、極めて大きな被害をもたらす場合があることが歴史的に知られている。その主な原因は高潮であることはこの国の防災を考える上で重要である。特にバングラデシュは、前述の

通り国土の大半が平均海面よりやや高い沖積デルタに立地するため、一度高潮が発生すると広大な地域が水没することになる。

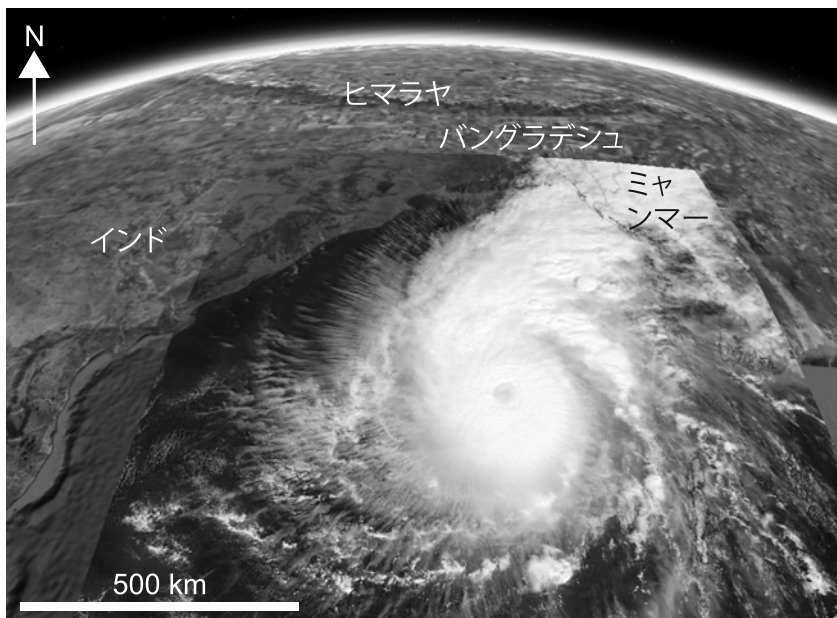
バングラデシュにおけるサイクロン被害は、雨期直前の5月頃(pre monsoon)と雨期直後の10月頃(post monsoon)に集中して発生する。平均すると2~3個/年の上陸個数である。歴史的に見ると、1797~1991年間に60回の大規模サイクロン被害を被っており、このうち32回は高潮被害を伴った。しかも、20年ごとに12m、5年ごとに7mの波高を伴う高潮が繰り返してこの国を襲っている。

1970年11月12日、バングラデシュの歴史上最も激しいサイクロン・ボーラ(Cyclone Bhola; Category 3 (SSHS))が襲い、最大風速222km/hの強風と最大波高5.5mの高潮によって、30~50万人の死者が発生した。1991年4月29日には最大風速235km/hのサイクロン・ゴルキー(Cyclone Gorky; Category 5)が襲い、この際発生した4.5mの高潮によって東部の港湾都市チッタゴン(Chittagong)において14万人の死者が出た。このサイクロン被害については、名古屋大学大学院環境学研究科の海津正倫教授と京都大学防災研究所のサイクロン災害研究グループによる詳細な報告がある(海津, 1991; サイクロン災害研究グループ, 1992)。

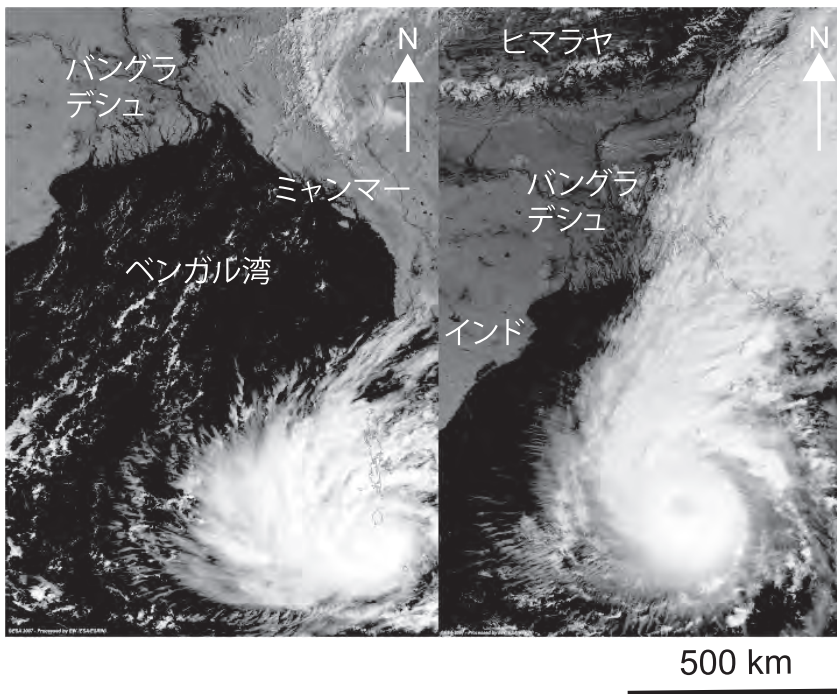
ちなみに、日本の過去の台風による最大の被害をもたらした1959年9月伊勢湾台風(4,697人)と比べると、バングラデシュの被害者数は遙かに大きな数字であることが分かる。これは両国間で、防潮堤等のインフラ整備や人口密度の違いが大きく異なるためと理解されよう。

### 4. 2007年11月15日サイクロン・シドルによる災害の概要

2007年11月9日、インド洋ニコバル諸島付近においてサイクロン・シドル(Cyclone Sidr)の元となる小型熱帯低気圧が発生した。11日にはアンダマン諸島付近で大型熱帯低気圧であるサイクロンに移行してベンガル湾をさらに北上した(第1および2図)。15日には風速が215~250km/hのCategory 4 (SSHS)に達し、その勢力を保持したまま午後6時30分頃、バングラデシュ、スダバン・イースト東部のボルグナ(Borguna)付近に上陸した(第3図)。翌16日午前には風力が大



第1図  
ベンガル湾北上中のサイクロン・シドルの状況(11月16日時点). Google Earthを基図としてNASAのTerra衛星画像を添付して3D画像を作成した.



第2図  
バングラデシュに接近したサイクロン・シドルの状況(11月15日時点). NASAのTerra衛星画像を使用した.

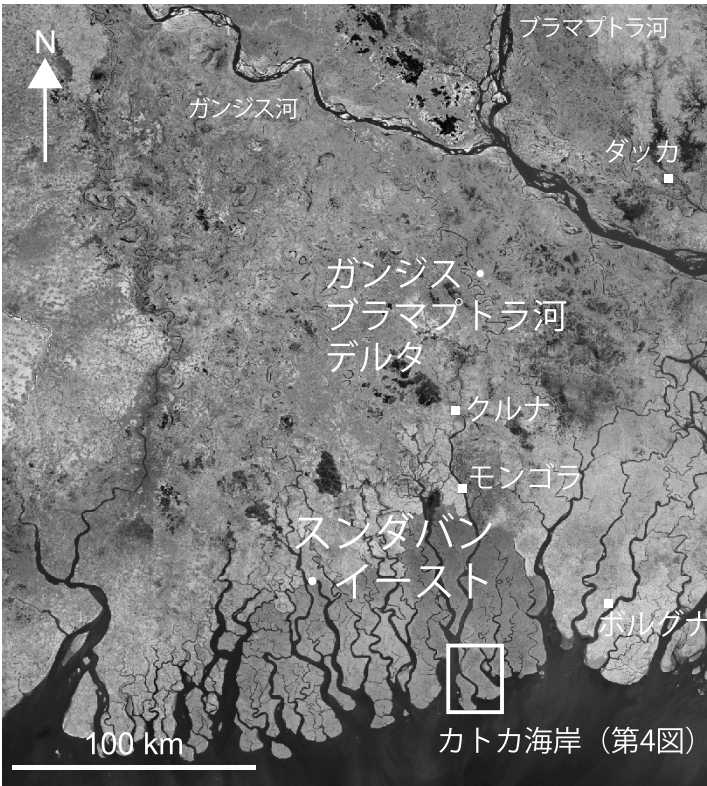
きく減衰し、その後消滅した。

バングラデシュの気象庁(DMB)の発表したサイクロン・シドルによる人的被害は、死者3,363人、行方不明871人、被害者8,923,259人であった。家屋被害は1,518,942棟、堤防の被害は決壊367km、部分被害2,015kmであった。被害総額は31億1千400万ドル程

に達し、被害は洪水と高潮の両方によるものであった。

今回のサイクロン被害は1991年とほぼ同規模のサイクロンにもかかわらず死亡者が少なかった。その理由は、(1)サイクロンの経路が主に農村部であったこと、および(2)諸外国の援助によって構築されたサイ





第3図 ダッカ、クルナ、モンゴラとスンダバン・イーストの位置図。NASAの衛星画像を基図として使用した。

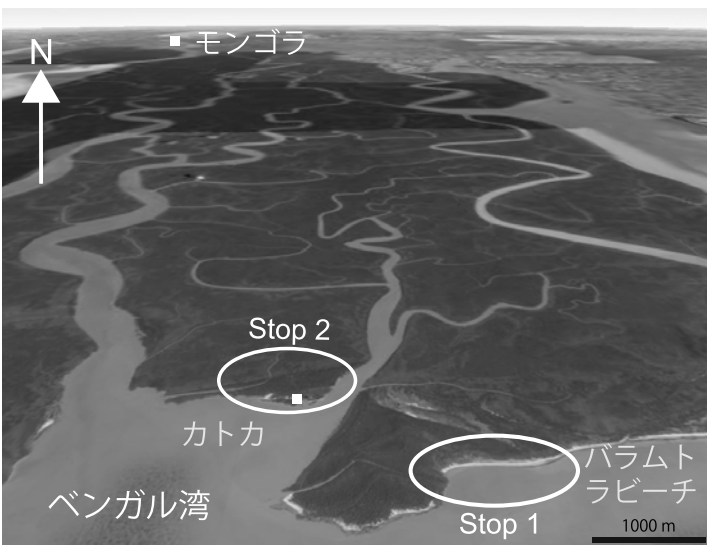
クロンシェルターや早期警戒情報の伝達ネットワークが充実した成果、と言われている(長谷川, 2008)。

一方、サイクロンの最大風速は240 km/hであり、1991年の225 km/h、1970年の222 km/hを大きく上回っている。しかしベンガル湾沿岸で観測された高潮の波高は3.5～6.5 m程度であったが、幸いにして襲来時刻が干潮時であったため、最悪の事態は避けられたとの指摘もある(安田, 2008)。

### 5. サイクロン・シドルによる高潮被害地の視察

スンダバンはベンガル湾沿岸、ガンジス・ブラマプトラ河デルタ河口域に位置する。ここにはインド・バングラデシュ国境に跨る世界最大のマングローブ自然林が存在するが、インド側とバングラデシュ側の地域がそれぞれ別々にUNESCOの世界遺産に登録されている(第3図)。ここは生物学的に貴重な野生生物の宝庫であり、特にベンガルタイガー、ワニ、インドニシキヘビなどの絶滅危惧種が自然状態で棲息することが知られている。バングラデシュ側のスンダバンは、インド側と区分する意味でスンダバン・イースト(Sundarbans East)と呼ばれる。スンダバン・イーストにアクセスするには、ダッカから入国後、クルナ(Khulna)経由でモンゴラ(Mongla)という河川港まで車で移動し、ここから船に乗り換え河を下流して入るのが一般的なルートである(第3図)。

2008年1月11-13日、IGCP-475: Bangladesh venue開催後のポスト巡検で、University of RajshahiのMd Badrul Islam教授、Vanderbilt UniversityのSteve Goodbred Jr.博士およびGeological Survey of Bangladesh (GSB)のSirajur Rahman Khan氏の



第4図 カトカ海岸の位置と視察した2地点(stop 1, stop 2)。Google Earthを基図として3D画像を作成した。



第5図 ボートによる視察の風景。(a) チャーター船と上陸艇, (b) 干潮時の支流域に露出するデルタの基盤を成す干潟成シルト層(マングローブ林直下), (c) 視察参加者, (d) ベンガルタイガーの襲撃に備えライフル銃で武装したレンジャー。(a) (b)の写真はMd Badrul Islam教授によって提供された。

案内により、我々はスダバン・イーストのサイクロン・シドルによる高潮被災状況を視察する機会を得た。今回、我々の場合もIGCP-475会議の行われたダッカおよびクルナからモンゴラまでバスで移動し、さらにモンゴラ港からの2隻の観光船をチャーターして、現地入りした(第5図)。

スダバン・イーストにおいて我々が視察した地域はカトカ(Katoka)というベンガル湾に直接面した漁村であった。我々は観光船からボートに便乗して、最初に河川対岸のバラムトラのポケットビーチを視察した(Stop 1)。その後、被災したカトカ村とその背後のマングローブ林の状況を視察した(Stop 2)(第4図)。

#### (1) バラムトラ海岸の海岸土砂移動

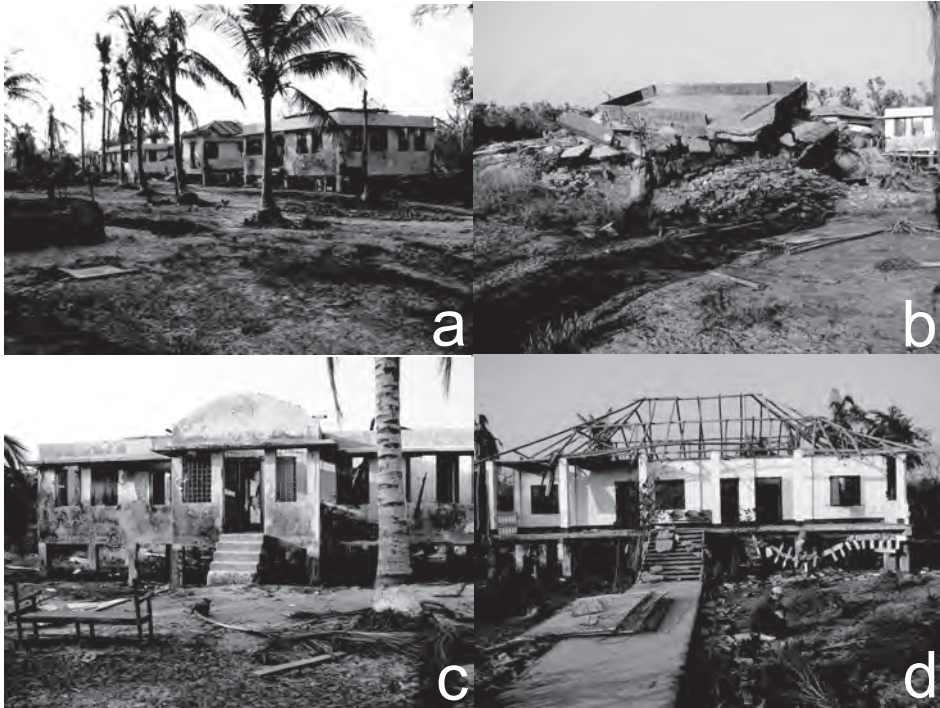
(Stop 1 : N21° 50'32.9", E89° 47'47.5")

ガンジス・ブラマプトラ河デルタの多くは干潟成シルト層からなるが、ベンガル湾沿いのデルタ先端部は波浪による沿岸浸食によって、小規模なポケットビーチが多数できている。その一つがバラムトラビーチ(Badamtola Beach)である。ここでは高潮によって起

こった大規模海岸土砂移動と倒木したマングローブ林を観察した。ここで2005年3月に齋藤文紀氏が視察の予察の際に撮影された写真と今回撮影したものを比較すると、マングローブ林の立ち枯れから高潮の高さと海浜地形の変化がよく理解できる(第7図)。特に、被災後はポケットビーチの海浜砂が欠乏し重鉱物が帯状に濃集していることが観察された。案内者によれば、この地において、高潮は約300m以上も内陸側まで浸水したらしい。

この海浜の砂は石英質な極細粒砂であり、ガンジス・ブラマプトラ河によってヒマラヤ山脈からシルトと共にもたらされたものが、波浪によって分級され局所的に残留定置したものであろう。また、極細粒砂は水理学的に見て動きやすいことが知られている。ここでは高潮が300m以上陸側に侵入したとのことであるが、この際、ポケットビーチの砂が浸食され陸域まで分散されていた様子が見て取れた(第8図)。ビーチ背後には砂丘が殆ど形成されていないので、既存の土壌や倒された植物の上に砂層が存在することで容易に認識できるし、砂層は厚い場所で5cmの堆積が

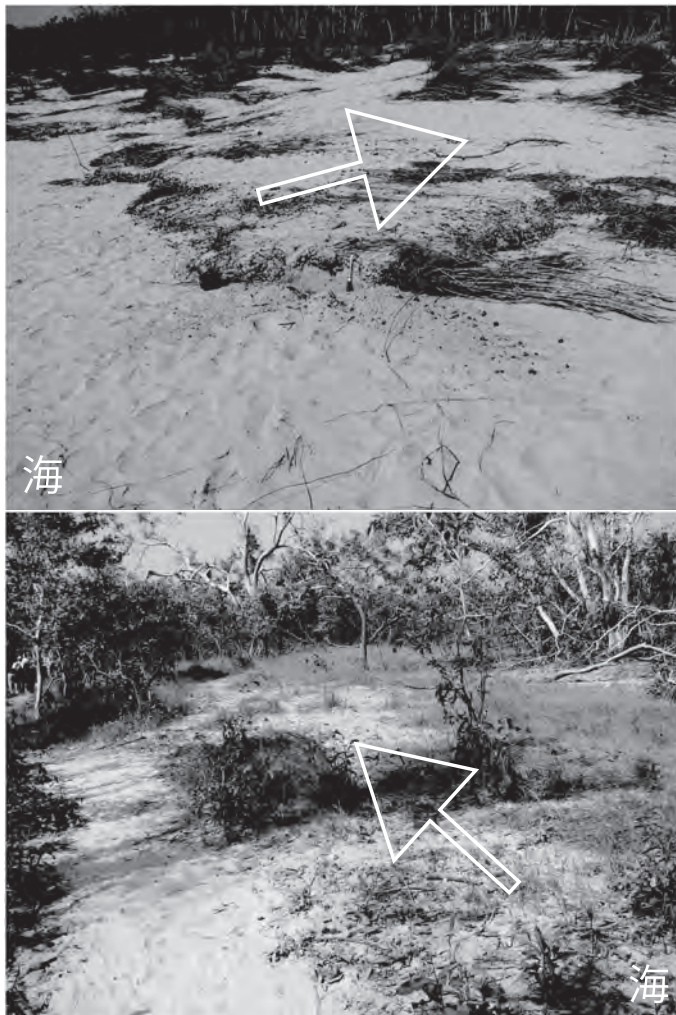




第6図 カトカ村における構造物の被害状況. (a) 村の遠望, (b) 倒壊した家屋の惨状, (c) 高潮によって窓枠の上限(3m)まで海水に浸かった家屋, (d) 暴風によって屋根が吹き飛んだ家屋.



第7図 サイクロン・シドルによる被災前(a, b)と被災後(a', b')のStop 1での比較. a, a'はStop 1の西方, b, b'はその東方を望む. 2枚の被災前の写真は齋藤文紀氏が2003年3月25日に撮影したものを借用した.



第8図 高潮遡上によって海浜から陸側に供給された地表面を覆う多量の砂粒子。矢印は推定される流れの向きを示す。

確認できた(第9図)。

現地において特に印象が強かったのは、強い戻り流れによってマングローブの樹根が洗い出されていた産状であった。この種の洗掘痕の規模は様々であったが、何れにしても50~100cm位の浸食量は容易に見積もれた(第10図)。

(2) カトカ村とその周辺のマングローブ林

(Stop 2 : N21° 51'13.3", E89° 46'29.3")

ボートで対岸へ移動し、被災したカトカ村とその周辺のマングローブ林を視察した。ここでは今回のサイクロン・シドルによる高波と高潮によって多くのマン

グローブ林がなぎ倒され、家々の屋根が吹き飛ばされ、倒壊した家屋も多数認められた。住民の話によれば、この村を襲った高潮の高さは3m程であったらしい。これ程の大惨事であっても、サイクロンシェルターへの避難によって、被災者は皆無であったらしい。被災後、ある程度時間が経過していたので生々しい惨状ではなかったものの、大規模水害による悲惨な産状は津波後のものと大差はないと感じた(第6図)。

村に近い沿岸低地では、大小様々な規模の洗掘痕を観察できた。これらのうち、径10mを優に超える三日月状の大規模な洗掘は遡上流か戻り流れの渦流によって生じたものと考えた(第10図)。また、低地一帯は薄いシルトの膜によって覆われ、そこには明瞭なwave rippleが観察された。これらは高潮退水後しばらくの間懸濁した海水が滞水し、風波の影響を受けていたことを示している(第11図)。さらに、しばしば高波によってもたらされたであろうwashover堆積物が認められた。この堆積物には煉瓦片や貝殻片が多数混在しており、人工物の残骸を巻き込んで流入してきたように見えた。

村の立地する沿岸低地の裏側のマングローブ林内は潮汐の卓越した干潟環境となっており(第12図)、ここに多くのマングローブが倒木していた。ここで我々が干潟を掘ってみると、表面の薄いシルト層の膜の下に厚さ6cm程の極細粒砂層が存在し、さらにその下位には厚い干潟成シルト層が確認できた。これらの砂は、高潮の流入時にポケットビーチからもたらされたものと推察される。

6. 高潮による浸食・堆積現象のイメージについて

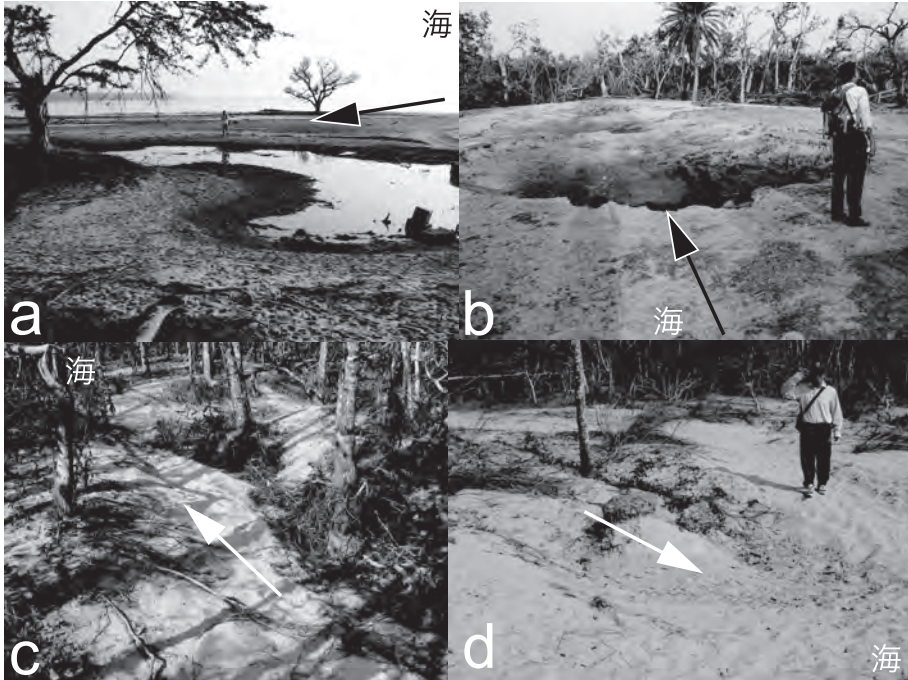
今回、サイクロン・シドルによって生じた高潮による大規模な浸食現象と堆積現象を概観した。以下に、観察点の整理を行っておきたい。

まず今回、波高3~5mの大規模な高潮の遡上の



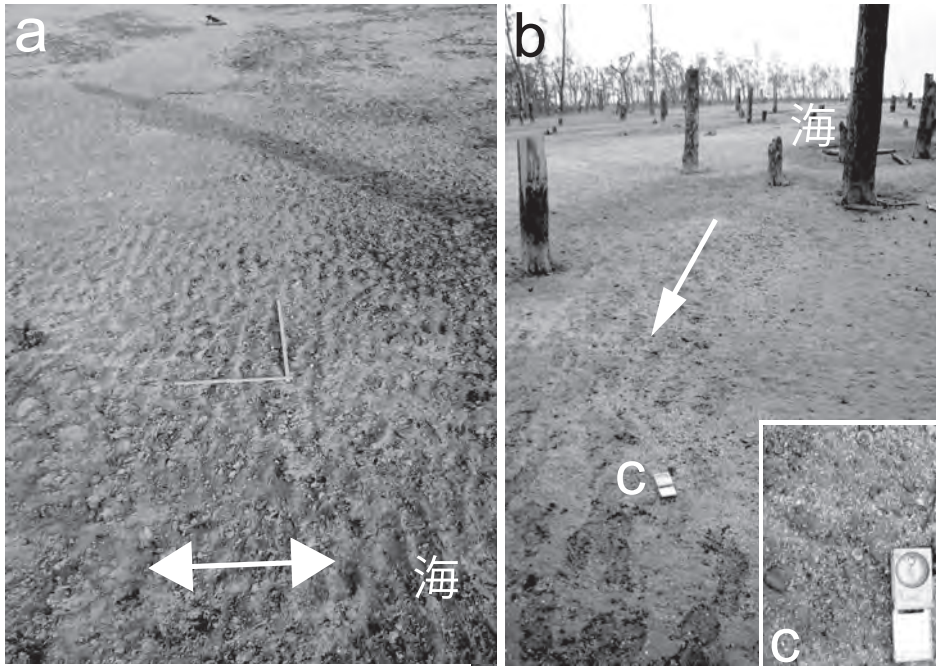


第9図 草地を覆うように認められる高潮イベント砂層。矢印は草の倒れ方から推定される戻り流れの向きを示す。



第10図 大小様々な規模の洗掘痕。高潮によって生じた強い渦流の存在を示唆する。(a, b) 遡上流(黒い矢印)によって生じた大規模な三日状の洗掘痕。(c) 戻り流れ(白の矢印)によって生じた洗掘作用、樹根が洗い出されている。(d) 戻り流れ(白の矢印)によって小砂丘に生じた洗掘痕。





第11図 海岸低地に認められる wave ripple と washover 堆積物. (a) wave ripple は滞水時の風波の影響を示す. 矢印は波の押し引きの向き. (b, c) 海岸低地に認められる小規模な washover 堆積物, 矢印は越流の方向を示す.



第12図 マングローブ林内の干潟の状況. (a, b) マングローブ林の倒木, (c) 表層を膜状に覆うシルト, (d) 干潟成シルト層を覆う高潮イベント砂層.

際、沿岸浸食は遡上流によっても戻り流れによっても生じることが分かった。その規模も数10cm～数mオーダーのものがあり、私の過去に見てきた津波被災地の状況と類似していた。

次に、この際生じたと推定されるイベント堆積物に着目したい。今回、越波によって生じたwashover堆積物が幾つか認められた。これらは高潮遡上中の波動(高波)によって生じたものであろう。浸水域300mに対して、極細粒砂は遡上限界点付近まで運ばれて堆積しているように見えた。砂層の最大層厚は5～6cm程度で、陸側に向かって薄くなっているようにも見えた。その表面を薄いシルトの膜が覆っていたが、これは砂の沈積後、海水中に懸濁浮遊していたシルト粒子が覆ったため生じたのであろう。これは陸上遡上時に生じる一般的な津波堆積物の堆積ユニットと相違はない(七山・重野, 2004; Morton *et al.*, 2007)。但し、この地での砂の分布は津波堆積物のようなシート状ではなく、むしろ斑状に見えた。但し、高潮浸水後の暴風によっても極細粒砂は容易に動くので、今となっては断言できない。

高潮の場合、浸水のみならず強風や降雨の影響も併せて考慮すべきなのであろう。例えば、今回、被災地を見て、マングローブの倒木や家屋の屋根のダメージが暴風によるものか高潮によるものか、素人の私には全く分からなかった。しかし多量の降雨によって砂が湿れば、例え強風であっても飛砂にはなりにくいとも考えられる。

大規模高潮の遡上によって生じる堆積物と津波堆積物の層相からの区分は、局所的な産状だけではすぐ難しく私には思える。例えば、Nanayama *et al.* (2000), Tuttle *et al.* (2004), Morton *et al.* (2007)等が示した各種 bed formや多重層構造を持つ washover fan的な層相は、バリア島のような頻りに波浪の影響を受ける環境では典型的なものではあるが(Schwartz, 1982; Leatherman, 1987)、一般的な沿岸低地の場合、越流後、海岸から距離が離れるにつれ波浪の影響は薄れ一方向流として拳動することが予想される。今回記載したカトカ海岸の高潮の場合も浸食・堆積作用は“流れ”によって生じている。また、津波の陸上遡上と同様に、地形によっては遡上流と戻り流れの両方の影響が想定され、特に滞水後に生じる後者は現地の地形によって支配されるのであろう。

それではこの場合、過去の両者のイベント痕跡認定の際、何が同定の指標になり得るだろうか? USGSによるハリケーン・カトリナ被災後にメキシコ湾岸のバリア島で行った地形調査や大西洋岸のバリア島での20世紀に起こったハリケーンによる地形変化を参照してみても、400～600m規模のwashover fanが高潮によって形成され得る世界最大級のイベント堆積物であるらしい(Wang and Horwitz, 2007; USGS, 2009)。よって、海岸からの分布規模が数kmに達するシート状の巨大津波の痕跡と数100m規模以下で舌状を示す高潮痕跡は、分布規模の観点からは識別できるのかも知れない。

露頭規模では何が両者の指標になるのか?“堆積物に含まれる塩分濃度は指標になる可能性があるのでは?”と現地では私は考えた。津波堆積物の場合は、その後塩水が堆積物中に残留し結晶化して残る場合がある。一方高潮時には多量の降雨が伴われるはずで、この場合、海水の塩分濃度は有意に下がり堆積物中にも残留しにくくなるのかも知れない。

蛇足ながら、バングラデシュでは地震災害も重要である。例えば、バングラデシュとミャンマーの国境付近には、2004年12月のスマトラ・アンダマン地震(M 9.1)を引き起こしたユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートのプレート境界の北方延長部が存在する(第2図)。もちろん、この地で発生する巨大地震は津波をも引き起こし、この場合、スンダバンのみならずベンガル湾西岸に位置するインドやスリランカの街を飲み尽くすのであろう。ちなみに、1762年4月2日バングラデシュ・ミャンマー北西部で地震があり、津波などにより多数が死亡したことが歴史的に知られているが、その実態はよく分かっていないらしい。このような古地震・古津波研究の実施も、バングラデシュに課せられた今後の宿題としてあげられよう。

謝辞: University of RajshahiのMd Badrul Islam教授、Vanderbilt UniversityのSteve Goodbred Jr.博士、Geological Survey of Bangladesh (GSB)のSirajur Rahman Khan氏には現地観察や資料の提供でお世話いただいた。IGCP-475共同リーダーである齋藤文紀博士には、現地で撮影された貴重な写真をご提供いただくと共に、渡航の機会を与えていただいた。



## 引用文献

- 長谷川和義 (2008) : バングラデシュサイクロンシドル (SIDR) 高潮水害緊急調査と調査団の概要. 土木学会.  
<<http://www.jsce.or.jp/report/46/files/hasegawa.pdf>>.
- Leatherman, S.P. (1987) : Coastal geomorphic applications of ground penetrating radar: *Journal of Coastal Research*, 3, 397-399.
- Morton, R.A., Gelfenbaum, G. and Jaffe, B.E. (2007) : Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples. *Sedimentary Geology*, 200, 184-207.
- 七山 太・重野聖之 (2004) : 遡上津波堆積物概論—沿岸低地に残された津波堆積物に関する研究レビューと1993年北海道南西沖地震津波の研究結果から得られたそれらの認定基準—. *地質学論集*, no.58, 19-33.
- Nanayama, F., Shigeno, K., Satake, K., Shimokawa, K., Koitabashi, S., Miyasaka, S. and Ishii, M. (2000) : Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, southwestern Hokkaido, northern Japan. *Sedimentary Geology*, 135, 255-264.
- 西村裕一・宮地直道 (1996) : 台風24号 (1994年9月) に伴う高潮の堆積物に関する調査. 北海道地区自然災害科学資料センター報告, no.10, 15-26.
- 岡 太郎 (2004) : バングラデシュの洪水災害. 京都大学防災研究所年報, no.47A, 59-80.
- サイクロン災害研究グループ (1992) : 1991年サイクロンによるバングラデシュの高潮・強風災害. 京都大学防災研究所年報, no.35A, 1-41.
- Schwartz, R.K. (1982) : Bedform and stratification characteristics of some small-scale washover sand bodies. *Sedimentology*, 29, 835-849.
- Tuttle, M.P., Ruffman, A., Anderson, T. and Hewitt, J. (2004) : Distinguishing tsunami from storm deposits in eastern North America. The 1929 Grand Banks tsunami versus the 1991 Halloween storm. *Seismological Research Letters* 75, 117-131.
- 海津正倫 (1989) : バングラデシュの自然環境と水害. *地理*, 34, 56-63.
- 海津正倫 (1991) : バングラデシュのサイクロン災害. *地理*, 36, 71-78.
- USGS (2009) : Coastal Change Hazards: Hurricanes and Extreme Storms.  
<<http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/katrina/lidar/dauphin-island.html>>
- Wang, P. and Horwitz, M.H. (2007) : Erosion and depositional characteristics of regional overwash deposits caused by multiple hurricanes. *Sedimentology*, 54, 545-564.
- 安田誠宏 (2008) : サイクロンシドル (SIDR) による高潮の数値シミュレーションと被害の実態. 土木学会.  
<[http://www.jsce.or.jp/report/46/files/0\\_DPRI\\_yasuda.pdf](http://www.jsce.or.jp/report/46/files/0_DPRI_yasuda.pdf)>.

---

NANAYAMA Futoshi (2010) : Huge onshore erosion and sedimentation and erosion due to 15<sup>th</sup> November 2007 Cyclone Sidr in Sundarban East, Bangladesh.

---

<受付：2009年8月26日>