

# サイクロン Sidr によるバングラデシュ海岸・河川高潮災害の現地調査

Field Survey of Storm Surge Disaster due to Cyclone Sidr in Bangladesh

柴山知也<sup>1</sup>・田島芳満<sup>2</sup>・柿沼太郎<sup>3</sup>・信岡尚道<sup>4</sup>・安田誠宏<sup>5</sup>・

ラクイブ アフサン<sup>6</sup>・ミザヌール ラフマン<sup>7</sup>・シャリフル イスラム<sup>8</sup>

Tomoya SHIBAYAMA<sup>1</sup>・Yoshimitu TAJIMA<sup>2</sup>・Taro KAKINUMA<sup>3</sup>・Hisamichi NOBUOKA<sup>4</sup>  
Tomohiro YASUDA<sup>5</sup>・Raquib AHSAN<sup>6</sup>・Mizanur RAHMAN<sup>7</sup>・M. Shariful ISLAM<sup>8</sup>

Field surveys were performed in the southwest of Bangladesh to learn lessons out of severe disasters due to Cyclone Sidr. Spatial distributions of inundation heights were measured around the most damaged area. Inundation heights along the Baleshwar river and the Burishwar river were relatively high compared to those observed on the coast of Kuakata although these sites are far from the coast. Detailed surveys were thus performed in these three areas and there found several residents who witnessed bore-like waves hitting on the damaged area. Embankments along the river had been eroded before the storm while dikes on the coast significantly functioned to reduce the damages of the coastal area behind.

## 1. はじめに

2007年11月15日にバングラデシュ南西部を襲ったサイクロン Sidr は最大平均風速 (1 分間平均) が約250km/h に達するなど, 1991年に同国の東南部沿岸域を直撃したサイクロンに次ぐ観測史上二番目の規模を有していた。Sidr に伴う暴風雨と高潮により, バングラデシュ南西部を中心に被災した人口は約700万人とされているが, 死者数のみに着目すると, 1991年サイクロンが約14万人の死者数を出したのに対し, Sidr では3243名 (2007年11月末時点) と1991年の3%程度に留まっている。これには, 1991年の大災害を契機に整備が進められたシェルターの効果や, 避難警報システム, サイクロン経路の違いなどの要因が考えられる。本調査では, Sidr による高潮被害状況を詳細に調べることで, 同国および我が国における沿岸域防災対策に対する有益な知見を得ることを目的とした。(柴山ら, 2006参照)

## 2. 調査の内容

調査は2007年12月26日から同28日の3日間に渡って行った。バングラデシュ南西部の地形および周辺水深分布を図-1に示す。図に見られるようにバングラデシュ南部は平均海面からの標高が3m 以下である地域が広範囲に広

がっている。本調査では, 特に高潮による被害が甚大であった図の陰影枠で示した領域を調査対象地点とした。

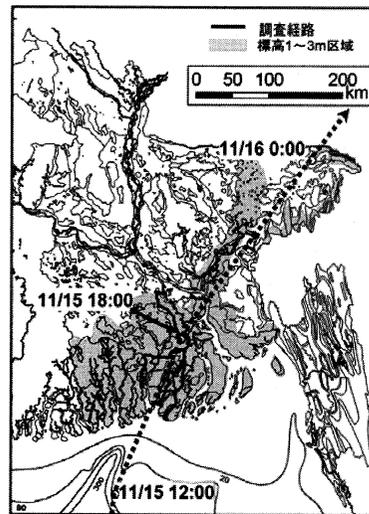


図-1 バングラデシュの周辺地形と Cyclone Sidr の経路

図-2には, 各地点で計測した平均水位に対する浸水高さの空間分布を示す。これらの浸水深の計測結果の多くは, 各地点における被災直後の痕跡の目撃証言に基づいている。特に移動経路上で河口から離れた地点は, フェリー乗り場における計測結果である。調査領域には中小規模の河川が縦横に流れ, 移動にはフェリーによる移動が不可欠となるが, フェリー乗り場には露店が多く, 豊富な目撃情報に加え, 露店に残された痕跡に基づき浸水高さを判定することができた。図より, 全般的には川に沿って河口から上流に向かって浸水高さが減少する傾向が見られたものの, Burishwar 川や Blasewar 川などの大河川河口周辺域である Somboriya や Naltona, Southkhali,

1 フェロー 工博 横浜国立大学教授 大学院工学研究院  
2 正 会 員 PhD. 東京大学准教授 大学院工学系研究科社会  
基盤学専攻  
3 正 会 員 博(工) 鹿児島大学准教授 工学部海洋土木工学科  
4 正 会 員 博(工) 茨城大学講師 工学部都市システム工学科  
5 正 会 員 博(工) 京都大学助教 防災研究所  
6 博(工) バングラデシュ工科大学准教授  
7 博(工) バングラデシュ工科大学准教授  
8 博(工) バングラデシュ工科大学助教授

Raenda での浸水高は、ベンガル湾に面した Kuakata 地点における浸水高と同等程度であったことが分かった。図-2は高潮モデルによる代表数地点での水位変動予測結果の時間変化を図示したが、モデルはこのような現象を概ね良好に説明できている(信岡, 2008)。

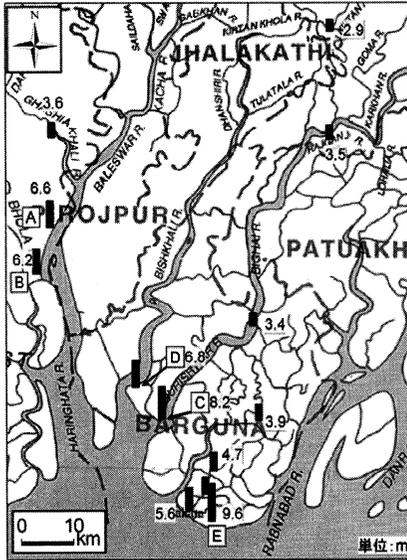


図-2 バングラデシュ南西部で計測した浸水痕跡高(背景の図はBangladesh Map Series, Hafiz Book Center, 2000より引用)  
(A. Raenda Bazar, B. Southkhali, C. Somboriya, D. Naltona, E. Kuakata)

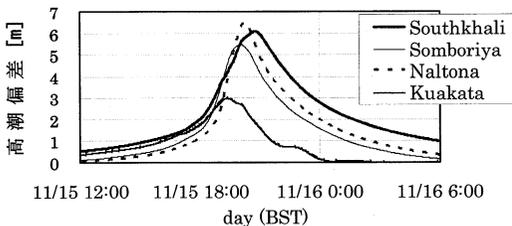


図-3 高潮の数値シミュレーション結果

以下、高潮による浸水被害が顕著であった、Baleswar川および Burishwar 川の沿岸地域、さらにベンガル湾に面した Kuakata 地点における調査結果を整理する。

(1) Baleswar 川沿岸における調査

a) Rayenda Bazar, Sarankhola

Baleswar 川に面する Rayenda Bazar において浸水高測量を行った。測線を内陸に延長しながら、詳細なヒアリングを実施した。測量結果の断面図を図-4に示す。図中の浸水高の数字は水面起点からの高さで、( )内は地面からの高さを示している。図-4における、水面の起点

(N22° 18' 49.2", E89° 51' 29.3") から水平距離(下段の数字)18.16mの地点の浸水高は、木(パーム種)に対する高さとして示した。この木より内陸に立つ木に登り、難を逃れていた人も、こうした木の周辺が浸水している様を見守っていた。水面の起点から水平距離66.4mの地点では、8人の死亡が確認された。水面の起点から水平距離255mの地点では、地面からの浸水深が1.8mと2.2mの二つの証言があったが、後者は、水が家屋の扉の上まで来たというものであった。また、水面の起点から水平距離342mの地点での、地面からの浸水深2.1mは、ある家屋の屋外における証言である。この家屋の屋内における地面からの浸水深に関しては、家族3人の証言が異なり、そのうちの一つは、1.5mという浸水深であったが、信頼度が低いと考えた。被災後、河畔に集落が作られたが、家屋は、以前にそれぞれがあった土地に建てられている。

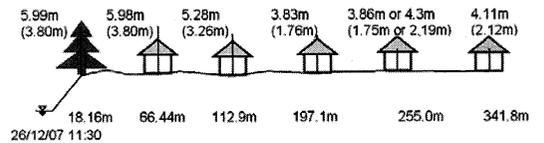


図-4 Rayenda Bazar における河岸からの距離と痕跡高

Rayenda Bazar 地区の南部に位置するシェルターの調査も行った。本シェルターは、通常、小学校として利用されており、壁のない1階部分も教室として使用されている。

b) Southkhali

Southkhali では、川の近くに、南向きの倒木が多数見られたが、北向きの倒木も数本見られた。後者は、流れによる倒木であろう。1991年のサイクロンによる被災後、沿岸域を中心に植樹が盛んに行われたが、根を浅く切って植樹されたため、Sidr 来襲時点では植えられた樹木の根がまだ浅く、各地で多くの倒木が見られた。

測量結果の断面図を図-5に示す。河岸には30年程前に堤防が作られたが、Sidr が来襲する以前から侵食され、崩壊していた(図-6)。また河岸侵食に伴い、川幅が徐々に広がり、河床水深は年々小さくなっている。堤防から陸側に約150mの位置に新しく堤防が作られたが、その天端高は、川面から約2.5mと低く、今回の高潮により越流が生じた。

図-5の水面の起点(N22° 14' 3.8", E89° 50' 3.8") から水平距離254mの地点にあるシェルター(図-7)でヒアリングを行った。これにより得られた、本地区における高潮の概要と避難の状況は以下の通りである。段波状の波が3波押し寄せ、第1波が河岸から約150m内陸に造られた堤防まで迫り、第2波がこの堤防を越え、そして第3波がシェルターまで押し寄せた。これらの段波の周

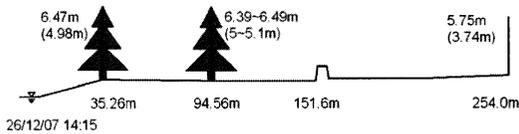


図-5 Southkhaliにおける河岸からの距離と痕跡高



図-6 Southkhaliで侵食された河岸堤防

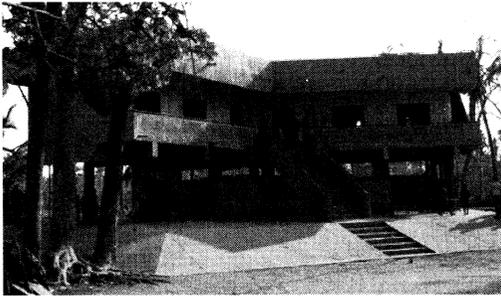


図-7 Southkhaliのシェルタ

期は1分程度であった。氾濫水は赤色を帯び、高水位は約15分間継続した。

シェルターの2階には、主として女性と子供が避難していた。シェルターが建つ土台の上面から3.8mに位置する窓下端から2階室内に浸水があった。また、この2階部の床上0.6mまで浸水した。シェルターの基礎部分上面から、シェルタ2階床までの高さは3.0mであった。この2階部への浸水により、避難していた人々が怖くなって逃げ出そうとしたが、風が強く、浸水もありドアを開けることができなかった。ドアには無理に開けようとした痕跡が見られた。

シェルターの3階部が屋上であり、この屋上には主として男性が1,000人近く避難し、身動きが取れないほどであった。このシェルターに迫り着くまでに流された人が多数おり、中には3kmも流された子供がいた。木につかまって助かった子供もいた。この地区では、約300人が死亡した。

高潮は、20:00頃に来襲し、これは、満潮となる24:00よりも前の時刻であったため、人々は、これ程の高潮を

想像していなかった。これは、過去の経験から、「高潮は、満潮と同時に起こるものである。」という、間違った認識を住民が持っていたためである。夕食の時間でもあったため、多くの人が避難しなかった。

実際に高潮が来襲する二日前に、バングラデシュの Meteorological Agency が、カテゴリー10で5mの高潮が起こると、テレビやラジオを通じて警報を出したが、実際には、その日は高潮が発生しなかった。その翌日にはサイクロンによる暴風雨が激しくなり、再び高潮の警報が出されたが、この予報も外れた。高潮が来襲した当日は、停電によりテレビが見られず、情報伝達は、ラジオか携帯電話を通じてのみであった。そのため、多くの住民に情報が届かなかった。このように、前々日及び前日の予報が外れたことで、住民の多くが警報を信じず、なかなか避難を開始しようとしなかった。また、高潮が来襲する前から暴風雨が激しく、樹木が倒れ始めていたため、自宅からの避難をためらった人も多かった。

避難は、大雨と強風の中であったが、雷が道を照らしたため、シェルターまで逃げるのができた人もいた。風向きは、東の風から、風速が大きくなるにつれて北の風に変化した。また、高潮による越流の流れは、北東向きから、南西向きに変化した。警報システムでは、サイクロンの風速や風向き、カテゴリー等の情報が公開されるものの、高潮の水位等の予報値が公開されていない。過去に、カテゴリー10のサイクロンによって高潮被害が発生しなかったことがあったため、カテゴリーを聞いただけでは、住民が逃げない。また、Sidrの一月前に津波警報が発令され、住民が避難したが、実際には、津波が来襲せず、このことも住民の避難を鈍らせた。

## (2) Burishwar 河口部周辺での調査

### a) Somboniya

本地区は、Barguna 県の南西端に位置し、ベンガル湾に注ぐ Burishwar 川の河口近くである。高潮の来襲により、河岸が500mほど侵食された(図-8)。被災後の河岸から約230m陸側に盛土式の堤防があり、その標高は平均水面から約4mであった。堤防の法面にはヤシが多く植樹されていたが、特に高潮流下方向にあたる陸側のヤシの倒木が顕著で根が地盤ごと削り取られていた。高潮による越流は堤防背後の家屋を倒壊させた(図-9)。

当地点での目撃証言に基づく、高潮の来襲および避難状況は次の通りである。まず、強風が吹き始め、川の水が一旦引き、異変に気付いた。5分後に浸水が始まり、高潮が本当に襲って来ると初めて気づき避難した。段波状の波形は確認されず、約15分後に最高水位に達した。この地点では、多くの人が流され亡くなったが、特に避難に時間がかかる、もしくは十分な高さまで木に登れないなどの理由で避難できる場所が限られる女性や子供に

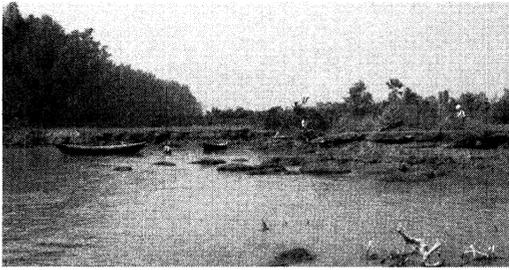


図-8 Somboniya における河岸の侵食状況



図-9 Somboniya 堤防背後における被災状況

多くの死者が出た。コンテナの箱のような物と流木につかまりながら3kmほど流され、生き延びた老人がいた。この地域もボランティアが警報を伝え回ったが、周辺の住民は警報を把握できていなかった。

#### b) Naltona

前面の河川で大規模河岸侵食、それに伴う破堤が Sidr 前に起こっていた。また、高潮で船が400mほど陸側に打ち上げられ、調査時には岸近くの家は跡形もなくその基礎にあたる整地した面だけが残っていた。

浸水高(6.8m)は、測定した木より300m陸側にはいった所にある樹木に登って、高潮を見ていた人の証言、すなわち「水面は幹の部分を超えていた、葉っぱしか見えなかった」との記憶と、翌日にこの木に登った人の証言によるものである。

この地区における高潮の状況と避難行動について住民の説明をまとめる。高潮警報は知っていたがシェルターまでは遠いので、木に登ったりつかまったりして、耐えしのいだ。この地区から最寄のシェルターまで1km以上ある。河岸沿いに住んでいる人だとさらに1km、計2km以上あり逃げられる距離でないので、近くにシェルターが必要である。

#### (3) 沿岸域(海岸)での被災特性

最後に海岸沿岸域における被災状況を把握するため、Kuakata における調査を実施した。Kuakata は、Sidr 経路の危険半円側に位置し、周辺地域では最も海側に張り出した地域である。図-10に Kuakata 周辺の衛星写真と計測した浸水高の平面分布を示す。図中の海岸線に沿っ

て東西に伸びた白い線は、1962年に作られた盛土式堤防である。水路沿いの Alipur および Hajipur における浸水高に着目すると、これら2地点における浸水高は West Kuakata の堤防背後における浸水高2.3mよりも約2m以上高かった。さらに Hajipur は Alipur よりも上流側に位置するものの、浸水高は Alipur よりも高かった。Hajipur 前面の水路幅は約330mと Alipur の90mよりも広く、また川からの距離も近く、さらに、Hajipur では河岸にフェリー2隻が打ち上げられており、河川が高潮の遡上を助長させていたことが推測される。以下に Kuakata および West Kuakata における観測内容を整理する。

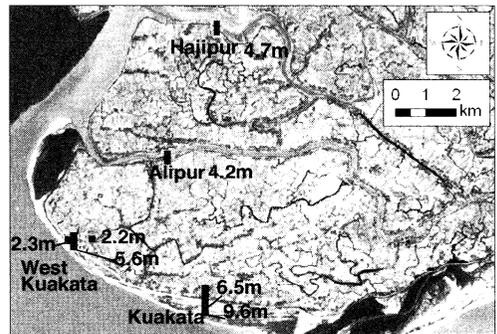


図-10 Kuakata 周辺の地形と浸水高の分布  
(背景写真はGoogle Earth より引用)

#### a) West Kuakata

West Kukata 周辺の防潮堤先端幅は約12m、標高は平均海面上約5mであった。堤防のすぐ背後や堤防上には、漁師や農民の家屋や観光ホテルなどが建てられており、そのさらに背後には広大な低地が農地として使われている。堤防の前面には幅150mで緩傾斜の砂浜が広がっており、その構成成分は細粒砂で、周辺河口域で卓越的なシルト成分とは明らかな違いが見られた。

図-10に整理した浸水高分布に見られるように、当地点では、堤防上での越流水深が60cm程度であり、その継続時間は10分から15分であったという現地証言を得た。また堤防上に建てられた納屋が、ほぼ真北に55m程度流されており、当地点での越流方向が北向きであったと推定できる。堤防背後の漁民の家屋に残された痕跡の浸水深は約70cmで、堤防から離れて位置するシェルター周辺の痕跡では浸水深が約1m程度であった。この漁民の家屋は、基礎打ちされておらず、越流により1mほど流されて破壊を免れた。現地証言によれば、堤防海側にも多くの家屋が建てられていたが、全て流失し調査時には痕跡も見られなかった。

図-11(a)には調査時における堤防の一部の様子を示す。堤防の前面(海側)の勾配( $s=1/2$ )は大きく、ほぼ全域で崩れた痕跡が見られた。一方、堤防背後の勾配は比較的緩やか( $s=3/10$ )だったが、剥離流によるものだと

推察できる局所洗掘が所々で見られた (図-11(b)). 以上の West Kuakata における調査結果より, 盛土式堤防は高波と15分程度の越流による外力を受けて一部が崩壊したものの, 背後域の減災に本来もとめられる機能を発揮していたといえる.

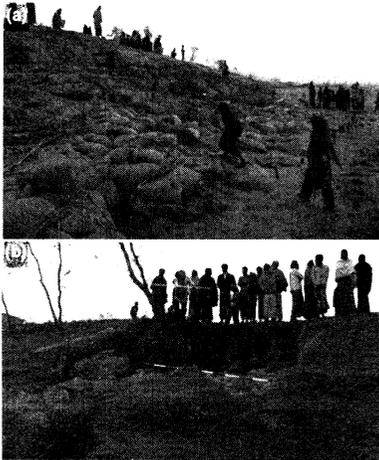


図-11 West Kuakata の盛土式堤防 (a: 海側, および b: 陸側)

### b) Kuakata

図-12 に Kuakata 周辺の平面図を示す. Kuakata 地点では海岸から堤防までの距離が690mあり, さらに海岸線には砂堆や植生も多く, 高潮は堤防を越流しなかった. Kuakata では2地点で浸水高を計測した. 海岸線から140mの地点に立てられた鉄柱を支持するワイヤーに絡まったわらの標高は, 平均海面上9.6mであった. また海岸から約330m内陸に入った植物園管理棟における痕跡高は6.5mであった. West Kuakata における堤防上の痕跡高5.6mも勘案し, わらの痕跡高9.6mは現地証言でも確認できた高波の存在による影響があったと考えられる.

Kuakata 地区周辺では海岸線周辺に標高1~1.5mの砂堆が広がっており, 砂堆上に家屋(食堂)も建てられていたが, 高潮と高波の来襲により全て消失した. 図-13は消失した砂堆跡を海側から見た様子である. ここでは高さ約1mの砂堆が幅30mにわたって消失し, 砂堆上に植えられていた松が流されて背後の松林に漂着していた. 砂堆背後域の浸水被害は比較的小さく, 砂堆の消波・減災効果が大きかった.

### 3. 結論

測量とヒアリングによる災害被害調査を行い, 被災時の現象を全体として把握するとともに, 被災程度に局地的な差異が見られた理由を考察した. 高潮が段波を伴って来襲したという目撃証言が多く, 段波の形成機構や流体力を勘案して高潮対策を行う必要がある. また海岸沿

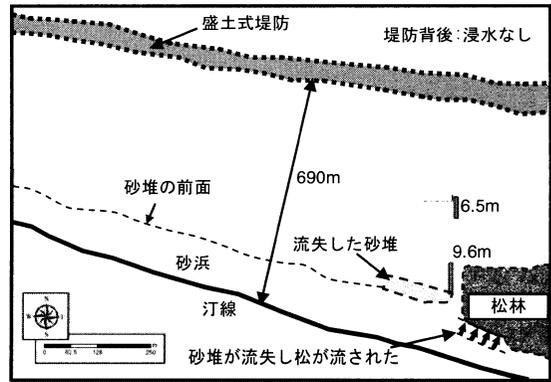


図-12 Kuakata における調査内容の平面図

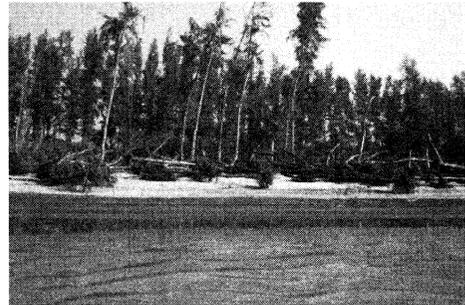


図-13 消失した砂堆と漂着した松 (Kuakata)

岸域では, 越流を許したものの防潮堤の有効性が確認できた. さらに, 集中的な被害が見られた河口部における, 河岸堤防の侵食問題も大きな課題であると考えられる. シェルターは, 避難に有効に機能したが, 避難距離と収容人数を考慮すると, 絶対数が不足している. また, 波浪を伴う高潮氾濫流に耐え得る防潮堤の増設が望まれる.

今後の避難方法に関しては, 1) 迷信や誤った概念に惑わされないきめ細やかな防災教育, 2) コーラン朗読に用いられるスピーカ等を利用した避難情報の確実な伝達及び伝達手段の確保, さらに, 3) 適切な避難距離と十分な収容人数を考慮したシェルターの建設と管理が重要である.

本調査は, 土木学会受託研究 ((社) 国際建設技術協会 NGO 補助, (財) 河川環境管理財団委託), 横浜国立大学, 茨城大学の資金補助により実施した. 調査に当っては, バングラデシュ工科大学, 国境なき技師団の塚本俊也, 林興治両氏に助力を仰いだ. 記して謝意を表す.

### 参考文献

- 柴山知也・安田孝志・小島治幸・田島芳満・加藤史訓・信岡尚道・安田誠宏・玉川勝巳 (2006) : Hurricane Katrina による高潮被害の調査, 海岸工学論文集, 53, 401-405  
 信岡尚道 (2008) : サイクロン・シドルによる高潮の数値再現, 茨城大学 (未発表原稿)