

サイクロンNargisによる高潮被害の調査

Field Survey of Storm Surge Disaster due to Cyclone Nargis in Myanmar

柴山知也¹・高木泰士²・ヌン スウ³・青木陽平⁴

Tomoya SHIBAYAMA, Hiroshi TAKAGI, Ngun Hnu and Yohei AOKI

Field surveys were performed in the Yangon River Basin to learn lessons out of severe disasters due to Cyclone Nargis. It was found that the tide due to the storm surge was up to 3 – 4m around 50 kilometers upstream of the river mouth of Yangon River. According to interviews with the local residents, it also appears that significant flooding took place at inland areas as a result of the upsurge through the tributaries or channels from the main river. Apart from the investigation, the tracks for the present and past cyclones (1945-2007) have been analyzed based on a string of best track data. The results reveal that quite a small number of cyclones (roughly 2 times on average every 10years) have hit the southern coast of Myanmar compared to the number of cyclones that hit the coast of Bangladesh, and that the route that Nargis traced is rather unique.

1. はじめに

2008年5月に発生したミャンマー南部の沿岸域（イラワジ川、ヤンゴン川の流域）での高潮災害では、家屋や田圃に甚大な被害が生じ、多くの人命が奪われた。本論文では、日本の土木学会とミャンマーの農業灌漑省灌漑局の協力の下に5月11日から15日に高潮災害の調査を実施した結果について述べる。

サイクロンNargisの来襲は5月2日夕方から翌3日の早朝であったため、人々の多くは家にとどまっていた。そこにイラワジ川河口からヤンゴン川河口にかけて高潮が押し寄せてきた。南よりの風が強く、特に吹き寄せの効果が大きかったと考えられる。測定の結果から、高潮水位はヤンゴン川本流部で概ね3-4m位と考えられる。高潮は河口から河道をさかのぼり、農業灌漑用の水路なども通過して各所で氾濫し、特に地盤高の低いところで大きな被害をもたらした。

サイクロンが接近していることは天気予報を通じてヤンゴン市内にも、イラワジ河口域にも一応伝わっていたと考えられる。ただ、この地域の人々は大きな高潮にみまわれたことが数十年にわたってなかったため（70過ぎの老人も覚えがないと語った）、人々はサイクロンの接近によりどのようなことが起こるのか具体的なイメージがなかったものと思われる。本調査では、Nargisによる高潮被害状況を詳細に調べることで、同国および日本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（同様の目的で行われた他地域の調査については柴山ら、2006、2008を参照のこと）。

2. 調査の内容

ミャンマー南部の海岸地形および周辺水深分布を図-1に示す。Nargisの進行経路も図-1にともに示してある（時刻は協定世界時で、現地時刻は+6.5時間となる）。ここで、進行経路はUNISIS（2008）、等深浅図についてはUniversity of Alaska（2008）のデータをそれぞれ利用して作成した。ミャンマー南部はヤンゴン、イラワディ両河川のデルタを中心に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、高潮によ

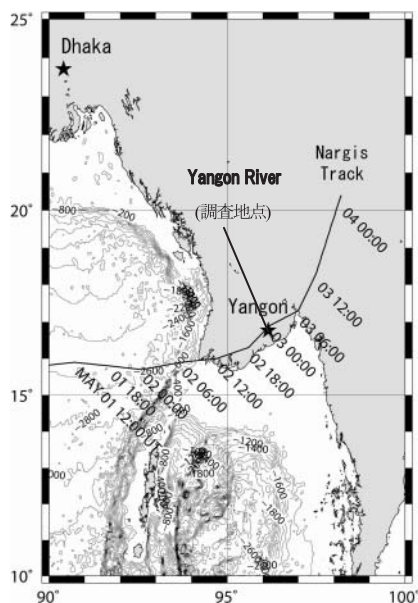


図-1 ミャンマー南部の海底地形とNargisの進路

1 フェロー	工博	早稲田大学教授 理工学術院（社会環境工学科）
2 正会員	博(工)	五洋建設（株）国際事業部
3	修(学)	ミャンマー国農業灌漑省技師
4 学生会員	学(工)	横浜国立大学大学院工学府社会空間システム学専攻

る被害が甚大で、政府の立ち入り規制が必ずしも厳しくなかったヤンゴン川流域を調査対象地域とする。調査に当たっては、GPSを用いて調査地点の場所を記録するとともに、各所において浸水痕跡高の計測、住民への口頭での質問調査を行った。現地での目撃証言を収集するとともに、そこでの高潮の高さを、レーザー距離計を用いた測量で計測した。図-2には、浸水高さを計測した地点の空間分布とそこでの浸水高さを示す。測量の結果から、高潮水位はヤンゴン川本流部で概ね3-4m位と考えられる。高潮後の連日のスコールのために痕跡が洗われてしまうために、これらの浸水深の計測結果の多くは、目撃証言に基づいている。多くの証言は高潮と同時に起こる波による水位の変化を含んでいると考えられる。

図-3に高潮推算モデルによる代表2地点での水位変動予測結果の時間変化（協定世界時）を図示した。図にはヤンゴン川河口域での風向、風速の時間変化も合わせて示してある。地点 α 、 β はそれぞれヤンゴン川下流部の左岸、右岸の代表地点に対応する。数値モデルには、GEBCOの1.85km地形メッシュデータを使用し、台風データはJTWC BEST TRACKの中心気圧と経路、気圧分布には一般的に用いられるMayerの式、台風半径については加藤（2005）の経験式、高潮モデルには水層を分割して上層と下層に分けて計算する2レベルモデルを用い、Leap-Frog法を用いて差分計算を行っている。この推算の結果は時間変動については、今回の高潮現象を概ね良好に説明できている。絶対値については、計測値に対して波浪成分をどのように分離するかの課題が残る。

ここで現地調査と数値シミュレーションを踏まえて、高潮挙動の概要を述べる。ミャンマーの南岸部は、アンダマン海に面しており、その海底地形は図-1に示したとおり、陸棚が発達しており、サイクロンの常襲地帯であるバングラデシュのベンガル湾とその点においては同一の特徴を有する。サイクロンNargisはこの広大な陸棚を右手に見ながら、ほぼ海岸線に平行するような経路を辿った。低気圧の規模が同一であっても、陸棚の幅が広く、水深が浅い海域では高潮は増幅されやすいため、Nargisによるイラワジ川河口域からヤンゴンにかけての被害

は、このような海底地形の特徴によって拡大した可能性が高い。

以下では、図-2に示した調査地点からいくつかの点を選んで解説する。

(1) ヤンゴン市内・フェリー・ボート乗り場（地点A、写真-1、N16度46分5.2秒、E96度9分43.5秒）

ヤンゴン市内の船の渡し場では、護岸を1.2m超える高潮が押し寄せた。ヤンゴン川の河口から約50kmのヤンゴン市内で、高潮の計測を行った。夜を徹して状況を見ていた渡し守の証言によると、サイクロンの最中に水位が急上昇し、堤防を越えて地面から1.2mのところまで水位が上がった。多くの船が岸に打ち上げられ、また周辺の水底に沈んだ。常時よりも高い水位はほぼ4日間続き、その後、平水位に戻っている。

この間、この川の上流にある灌漑用の貯水池では、サイクロン直後に水位が30cm上がり、すぐに元に戻ったとのことで、この水位上昇は降雨によるものではない。5月14日の潮位（13:19）がサイクロン来襲時に似ているという情報を基に測りなおしたところ3.18m程度の高潮の高さとなった。以上のことから、ヤンゴン川本流部で概ね3-4m位と考えている。

(2) バゴ川左岸（地点G、写真-2、N16度46分58.84秒、

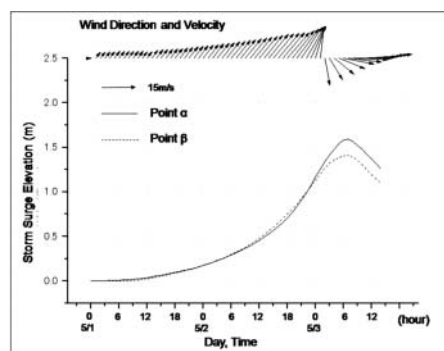


図-3 代表地点での数値シミュレーション結果



写真-1 ヤンゴン・フェリー乗り場

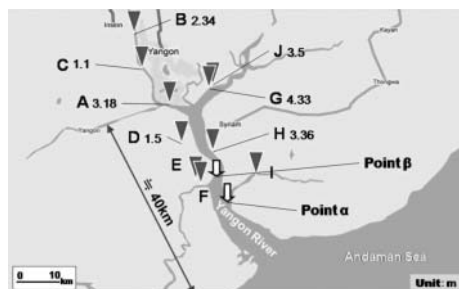


図-2 ヤンゴン川流域の計測点の分布と浸水痕跡高

E96度14分1.61秒)

高潮時には浸水し、写真は高潮流下時の洗掘の跡と見られる。また近隣では、数多くの舟が陸地に打ち上げられている。

(3) バゴー川左岸 (Thida Port) (地点J, 写真-3, N16度47分10.3秒, E96度14分40.1秒)

ここでは、1.7mくらいの波・しぶきが押し寄せた。この地に移り住んで20年の住人は、このような経験は初めてであると語った。

(4) Thilewaa Port近くの農家 (写真-4, 地点H, N16度39分42.6秒, E96度15分36.1秒)

農業用の水路を伝わって水が流入した。100mほど内陸の農家では、近くを流れる水路を伝って高潮があふれ、道路上15cmあるいは道路よりも低いところにある農家の軒下まで水が来たとのことで、住民は近くの寺院に逃げて助かった。この水は18時間程度で引いていった。川岸では5月15日12:40の川の水際線から高さ1.16m, 水平距離で48.1mの地点まで高潮が遡上し、2mを越える波高が発生していた。遡上域には大量のごみが打ち上げられていた。最高遡上点の座標はN16度39分37.6秒, E96度15分25.4秒であった (写真-5)。



写真-2 バゴー川左岸 (地点G)

(5) Rakhine Chaing Village (写真-6, 地点D, N16度39分37.5秒, E96度11分11.6秒)

ヤンゴン川の支川および農業用の水路を高潮が遡上し、水田域での水位が概ね1.5m程度上昇した。

(6) Latkegon村北部周辺の集落 (地点F, 写真-7, N16度36分10.6秒, E96度13分12.1秒)

道路上10~15cmくらいの浸水であったが、45~60cm程度の波が水田地帯を伝播した。調査隊はその後、村に



写真-4 Thilewaa Port近くの農家



写真-5 Thilewaa Portでの高潮遡上



写真-3 バゴー川左岸 (Thida Port)



写真-6 Rakhine Chaing Village



写真-7 Latkegon村北部周辺の集落



写真-8 バゴ川右岸の長屋集落での浸水



写真-9 ヤンゴン川支流（河口より64Km）での浸水

常駐している監視者に見つかり、外国人はこれより先には進めないとのことで、転進を余儀なくされた。

- (7) バゴ川右岸の長屋集落（地点J, 写真-8, N16度47分51.5秒, E96度13分37.2秒）

サイクロン通過時、集落の床下30cm程度の浸水が発生した。川までは250mほど離れているが、途中護岸などは存在せず、周辺の地形はゆるやかに川につながっている。雨季の高潮位時には、しばしば家の前が浸水するとのことである。

- (8) ヤンゴン川支流（地点B, 写真-9, N16度55分32.6秒, E96度04分20.6秒）

ヤンゴン川河口部から64km上流に位置するこの地点においても地面より約45cmまで川の水が押し寄せた。近くに居を構える僧侶の話では、水位のピークは5月3日午前5～6時（現地時間）頃であったという。

3. 過去のサイクロン経路との比較

ミャンマー周辺における過去のサイクロン発生状況を分析するため、JTWC（2008）のベストトラックデータを利用して、1945年から2007年までのサイクロン進行経

路を描画した結果が図-13であり、Nargisのトラックも併記してある。

Chu and Sampson（2002）によるとJTWCのデータには1976年以前と1977年以降においてサイクロン出現数に不連続が見られる点や1970年以前のデータは十分な検証が行われていないことが述べられており、このような点に注意して分析する必要があるが、以下のような事項を指摘することができる。

- 1) ミャンマーの南岸部には、過去においてもサイクロンは来襲している。しかし、その経路は、海岸線をほぼ直角に進行する経路やアンダマン海を東から西へと抜けるパターンが多く、Nargisの経路は非常に稀である。
- 2) ミャンマー周辺におけるサイクロンの接近数はバングラデシュ周辺と比較すると圧倒的に少ない。その頻度は、平均して10年間に2回前後と考えられる。したがって、Nargisがミャンマーに過去最悪の被害をもたらした最大の物理的要因は、その進行経路と地形的特性の2点によって説明可能と考えられるが、それらに加えて、ミャンマーにおいて過去50年以上同規模の高潮被害が発生していないという過去の経緯がハード・ソフト両面での高潮対策の欠如、ひいては未曾有の災害へとつながったという点も重要な要因と考えられる。この点は、過去に度重なる深刻なサイクロン被害を経験し、サイクロンシェルターが急速に整備され、また住民の高潮への防災意識も高いバングラデシュの状況（柴山ら、2008）とはきわめて対照的である。

4. 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。2007年11月にバングラデシュを襲ったCyclone Sidrの被害と比較すると、

Years1945-1959



Years1960-1969



Years1970-1979



Years1980-1989



Years1990-1999



Years2000-2007

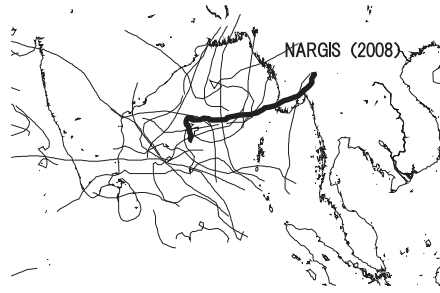


図-4 北インド洋周辺の過去のサイクロン発生状況とその進行経路 (1945年-2007年) (JTWCのベストトラックデータを使用)

同じように川を遡った高潮により被害が出ている。バングラデシュでは1991年以降に急速に整備したサイクロンシェルターによって人命の損失が最低限に抑えられたのに対して、ミャンマーでは高潮に対する備えがなかったために、13万人を超える大きな人命の損失をもたらした。ミャンマーでもシェルターを適切に配置する必要がある。

本調査は、(社)土木学会、ミャンマー国の農業灌漑省の協力のもとに実施した。また、横浜国立大学の資金を使用して調査を実施した。記して謝意を表する。

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
 柴山知也・田島芳満・柿沼太郎・信岡尚道・安田誠宏・ラカイブ アフサン・ミザヌール ラフマン・シャリフル イスラム (2008): 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, 海岸工学論文集, 55, 1396-1400.
 加藤史訓 (2005): 高潮危険度評価に関する研究 国総研資料第275号, 94p.
 UNISIS: 2008 Hurricane/Tropical Data for Northern Indian Ocean, http://weather.unisys.com/hurricane/n_indian/2008/index.html, 2008年9月16日
 University of Alaska: Geographic Information Network of Alaska, <http://www.gina.alaska.edu/>, 2008年9月16日
 JTWC: Tropical Cyclone Best Track Data, http://metocph.nmci.navy.mil/jtwc/best_tracks/, 2008年9月16日
 Jan-Hwa Chu and Charles R. Sampson: The Joint Typhoon Warning Center Best-Tracks 1945-2000, https://metocph.nmci.navy.mil/jtwc/TC_bt_report.html/, 2002.