台風ハイエンに伴うレイテ島沿岸部の人的被害状況

Human loss due to storm surge disaster caused by typhoon Haiyan in the coastal region of Leyte island

呉 修一¹・Anawat SUPPASRI²・Carine J. YI¹・Erick MAS¹・Jeremy D. BRICKER²
越村俊一³・真野 明⁴

Shuichi KURE, Anawat SUPPASRI, Carine J. YI, Erick MAS, Jeremy D. BRICKER
Shunichi KOSHIMURA and Akira MANO

Super Typhoon Haiyan that struck the Philippines on November 8, 2013 caused over 7,000 casualties by remarkably high wind speed, storm surges and waves. In this paper, characteristics of human loss in the coastal region of Leyte Island, Philippines were investigated based on the relationship between the observed inundation height and depth and the number of deaths and missing people in each barangay. From the analysis, barangays with more than 10 % of the fatality ratio were found along the coastal areas in Tacloban city and Palo and Tanauan municipalities. It was found that the scale of human damage caused by Haiyan is similar to that caused by any other historical tsunami disaster, clearly indicating the massive external force of the storm surge during the Haiyan event and the vulnerability of those coastal areas.

1. はじめに

2013年台風30号（ハイエン）はフィリピンレイテ島やサマル島に甚大な被害をおよぼした。本台風は上陸時の中心気圧895hPa、最大風速65m/s、瞬間最大風速90m/s（気象庁、2013）と史上最大規模のスケールであり、高潮、高波や強風を伴い7,000人を超える死者・行方不明者、100万棟を超える建物被害がフィリピンで生じた（NDRRC, 2014a）。NDRRC（2014b）の統計によると建物被害は、台風の経路に沿って強風域内で生じており、強風による被害が主要因と推測される。しかしながら、人的被害は特にレイテ島北東沿岸部に位置するタクロバン市、パロ町、タナウアン町に死者・行方不明者が集中しており、サンベドロ湾奥に発生した高潮の規模の大きさやレイテ島沿岸部の脆弱性を示唆するものである。

本災害の発災後、2013年フィリピン高潮合同調査隊（2013）や土木学会・フィリピン土木学会合同台風30号高潮災害調査グループ（Tajimaら、2014）が被害状況の把握を目的とした現地調査を実施している。また、著者らも2014年1月から3月に数度に渡り、現地被害調査を実施している（Masら、2014）。Tajimaら（2014）は、レイテ島北東沿岸部およびサマル島南東沿岸部における高潮・高波の被害状況および詳細な遡上高、浸水高・深の調査を行っている。また、宮本ら（2014）は本台風の避難警報の伝達状況等に関する調査を実施している。このような規模の大きい台風による高潮の発生は、地球温暖

化に伴い今後増加するものと懸念されており（例えば、Yasudaら、2014）、今後の同様の台風に備えるため、その被害状況と被害が拡大した要因を、上記した現地調査等を通じて評価する事は非常に重要である。

このような沿岸部の水害に対する脆弱性を、例えば、越村ら（2009）やSuppasriら（2013）は過去の津波の浸水高・深、流速および流体力と地域の建物被害状況や死亡率の関係等を整理することで評価している。越村ら（2009）は、津波被災地の衛星画像、数値解析結果、現地調査結果および歴史資料の分析を通じて津波被害関数を構築することで、津波外力と被害程度の間関係を表現する新しい被害想定指標を提案している。このように過去の災害事例を整理し外力、地域の脆弱性と被害状況の間関係を明らかにすることで、将来の被害を想定する試みは、今後の減災に向けた取り組みや被害の早期把握の観点等から非常に重要である。

本論文は、著者らの現地調査（Masら、2014）等より得られた高潮の浸水深・高の実測データと死者・行方不明者数の関係を各地域で整理するとともに、過去に生じた津波による人的被害状況と比較することで、本高潮災害の外力の強さおよびレイテ島北東沿岸部の脆弱性を評価することを目的とする。

2. 対象地域および使用データ

図-1に、レイテ島およびサマル島の位置関係、標高および本研究で対象としたタクロバン市、パロ町、タナウアン町の位置を示す。標高は、USGS（1993）のGTOPO30データより得た。死者・行方不明者数は、タクロバン市2,603名、パロ町1,101名、タナウアン町859名である。この死者・行方不明者数は、2014年2月25日現在、

1 正会員 博(工) 東北大学助教 災害科学国際研究所
2 正会員 博(工) 東北大学准教授 災害科学国際研究所
3 正会員 博(工) 東北大学教授 災害科学国際研究所
4 フェロー 工博 東北大学教授 災害科学国際研究所

図-1 フィリピンレイテ島・サマル島およびタクロバン市、パロ町、タナウアン町の位置

各市町で身元確認済みの数であり、各市町提供資料より算定した。3市町村の合計で4,563名と、本台風の人的被害の約60%以上をこの3つの市町が占めている。

著者らが各市町より現地で入手・整理した各村（バランガイ）の人口、死者・行方不明者数および死亡率を図-2に示す。人口データは、フィリピン統計局（National Statistics Office [NSO]）より提供されたCensus of Population and Housing 2000データ（NSO, 2002）を用いており2000年の人口調査データに基づいている。図-2の人口の空間分布より、人口の多い村がタクロバン南東部

の市中心地および各市町の沿岸部に多く存在することがわかる。これは生活や漁業を営む上での利便性や、地価の安い沿岸部に貧困層の多くが居住しているためと考えられる。この人口の沿岸部への集中が高潮災害の被害を拡大させた一つの大きな要因である。また図-2より人的被害は沿岸部に集中し、村の10~20%程度の住民が死亡・行方不明となった村が多数見られ、本高潮被害の甚大さを如実に示している。

本論文で使用する高潮の浸水高・深データは、著者らが2014年1月に実施した現地調査（Masら, 2014）、土木学会・フィリピン土木学会合同台風30号高潮災害調査グループ（Tajimaら, 2014）の調査結果および2013年フィリピン高潮合同調査隊（2013）、フィリピン気象庁（PAGASA: Philippine Atmospheric, Geophysical & Astronomical Services Administration）から提供された調査データを使用している。図-3にタクロバン市、パロ町、タナウアン町における各調査グループによる浸水高・深の計測結果および各村の平均浸水高、最大浸水高を示す。浸水高は平均海面を基準としている。図より7mを超える浸水高、5mを超える浸水深がタクロバン市沿岸部で観測されていることがわかる。

例えば、Brickerら（2014）の数値計算に基づく解析結果より、本台風に伴う浸水はレイテ島北東沿岸部では高潮が支配的であり、サマル島南東沿岸部では高波が支配的であることが明らかとなっており、上記した浸水高・深は高潮が主要因であると考えられる。

3. 高潮の浸水高と人的被害状況の関係

図-4にハイエンによる高潮および過去の世界の大津波に伴う最大浸水高と各村（最小行政区画）単位の死亡率

図-2 (a)人口(人), (b)死者・行方不明者(人), (c)死亡率(%)の空間分布(タクロバン市、パロ町、タナウアン町)

図-3 浸水高(a), 浸水深(b)の計測結果および各村の平均浸水高(c)と最大浸水高(d)

の関係を示す。過去の津波被害の状況は河田 (1997), 越村ら (2009), Suppasriら (2012, 2013) のデータを使用している。ここで、死者数が2名以下の村のデータは強風被害等との判別のため除外している。図-4より、本高潮災害の死亡率は、1896年明治三陸地震津波、2004年インド洋大津波のインドネシアの被害には及ばないが、2011年東北地方太平洋沖地震津波の平野部の被害と同程度の規模であることがわかる。これにより、今回の高潮の外力の大きさと3市町の脆弱性は、過去の大津波の被害に類似したものであることが明らかになった。

次に、図-5にタクロバン市、パロ町、タナウアン町の各村における平均浸水深と死亡率の関係を示す。図-5で、浸水深の空間平均は、単純な相加平均で算出しており、村内の地形標高が均一である、測定は窪みなどの特殊な地点で行われていない等、多くの仮定のもとに算定して

おり、不確実性を有する点に注意されたい。不確実性を極力低減するため、村内で2点以上の測定データが存在しない場合は、プロットから除外している。また、図-4と同様に死者・行方不明者数が2名以下の村のデータは、本プロットより除外している。

ここで、中央防災会議 (2005) が公表している、式 (1) に示す津波の浸水深と死者数の評価式から算定した死亡率も同時にプロットしている。

$$D = P \times 0.0282 \times \exp(0.2328 \times h) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 D : 死者数, P : 人口, h : 浸水深である。この式 (1) は、1993年の北海道南西沖地震津波の奥尻島の被害より算定されたものである。図-5より、平均浸水深の増加に伴い死亡率が上昇していることがわかる。ま

図-4 最大浸水高と死亡率の関係(台風ハイエン以外のデータは、1993年Okushiriまで河田(1997)、2004年Indonesiaは越村ら(2009))

図-5 平均浸水深と死亡率の関係

図-6 タクロバンシティコンベンションセンター(上)
およびレイテコンベンションセンター(下)
(2014年1月20日著者ら撮影)

た、平均浸水深が1.5m程度を超えると死亡率が大きくなっている。式(1)より算定された死亡率は、水深2m以上では実際の死亡率と同程度であるが、浸水深が小さくなるにつれ、その差異が大きくなっていることがわかる。これは、式(1)は北海道奥尻島における津波被害より決定された式であり、津波の流速がハイエンに伴う高潮よりも大きく、低い浸水深で死者を生じさせたためと推測される。ただし、死亡率は、外力の大きさだけでなく住民の災害に対する経験や意識の違いや災害情報の伝達状況により大きく異なることに注意が必要である。災害の外力に関連しては、越村・萱場(2010)が行った津波氾濫解析結果によると、奥尻島青苗地区の浸水域における津波の最大流速は、2~10m/s程度と非常に大きな値を示している。実際に著者らが実施したタクロバン市での聞き込み調査では、多くの住民が高潮による浸水状況から泳いで避難を実施し、助かることが出来たとの証言を得ている。また、高潮浸水の中、歩行遊泳により避難を実施する住民の姿が動画(iCyclon, 2013)でweb上に公開されるなどしている。このように、ハイエンに伴うレイテ島の高潮の流速は、津波と比較すると小さく、低い浸水深では自力で避難が実施可能であったものと推測される。

4. 人的被害拡大要因に関する考察

ハイエンに伴う高潮の人的被害が過去の世界の大津波と同程度であった。これは上記した高潮の浸水深などの外力が非常に大きかった点や図-2で示した沿岸部への人口の集中がまず挙げられる。生活や漁業を営む上での利

便性のみならず、貧困層の住民が、地価の安い沿岸部や国有地である沿岸部に住宅を構えることで地代の支払いを免れる目的で、多く居住していた。そして史上最大規模の台風が、人口密集地域に強風や高潮を発生させ得るコースを進んだことが、被害拡大の主要因として挙げられる。

その他にも、1) 貧困の問題、2) 高潮に対する理解不足、3) 不十分な避難施設、等が被害拡大要因として考えられる。宮本ら(2014)が明らかにしているように、フィリピン気象庁(PAGASA)は、ハイエンの上陸20時間程度前に7m程度の高潮が沿岸部に生じるという警報を出していたが、避難しなかった・出来なかった住民が多く存在していたようである。著者らはタクロバン市、パロ町、タナウアン町で700名以上を対象とした聞き取りアンケート調査を実施しているが、多くの方が、高潮という言葉を理解していなかった。また、貧困のため家財や家畜等を避難時の盗難から守るため、自宅を離れられなかった若い男性が多数いた事を確認している。このような社会的な貧困の問題や、高潮に対する認識不足が被害を拡大させた要因と考えられる。現在、上記聞き取りアンケート調査結果を統計的に評価中であり、詳細や明らかになった点等は今後逐次報告していく予定である。

最後に、避難施設であるが、図-6に主要避難施設であった、タクロバンシティコンベンションセンターおよびレイテコンベンションセンターの写真を示す。タクロバンシティコンベンションセンターはタクロバン市沿岸部に位置し、ハイエン上陸時に1,000名程度の住民が避難していた。しかしながら本センターは、沿岸部に位置しており避難所自体が高潮により浸水する事態となった。また、パロ町に位置するレイテコンベンションセンターには400名程度がハイエン上陸時に避難していたが、図に示されるよう強風に伴い屋根が完全に崩落した。幸いにもタクロバンシティコンベンションセンターでは浸水を察知した避難者が上階へ避難し、タクロバンコンベンションセンターでは、屋根の崩壊を察知した避難者が他の施設に崩落直前に避難するなどの対応により、死者は生じなかったと両市町は報告している。この事例は、レイテ島北東沿岸部の避難施設の脆弱性を端的に示すものである。堅牢な避難施設が適切な箇所によく設置されていたならば、人的被害を少なからず軽減できた可能性がある。しかしながら、タクロバン市の人口は約20万人であり、多くの人々が沿岸部に集中している。この人々全てに堅牢な避難施設を提供するためには、予算や用地確保など多くの問題が存在するの事実である。

5. まとめ

本論文は、台風ハイエンに伴う高潮による人的被害に

関して、レイテ島北東沿岸部に位置し本災害の人的被害の60%以上を占めるタクロバン市、パロ町、タナウアン町を対象とし、人的被害と浸水高・深の関係を整理し、人的被害状況の詳細を明らかにするとともに、被害の拡大要因に対して考察を行ったものである。

台風ハイエンの高潮による人的被害を整理した結果、1) 各村の死亡・行方不明者率が10%以上を示す村が沿岸部に多く存在する、2) 3市町村の本高潮に対する人的被害は、過去の世界の大津波の人的被害と同程度の規模である、3) 本高潮は浸水深が低くなると津波よりも人的被害が小さい傾向がある、等が明らかになった。

人的被害の拡大要因は、高潮外力の大きさ以外にも、1) 人口の沿岸域への集中、2) 貧困等の社会問題、3) 高潮に対する理解不足、4) 不十分な避難施設、等をあげる事が出来る。以上により、台風ハイエンは高潮外力の大きさとレイテ島北東沿岸部の脆弱性や貧困等の社会問題に伴い、過去に世界で発生した大津波災害と同規模の被害を生じさせた事がわかる。

しかしながら、上記の結論は空間的に計測数が十分ではない高潮の浸水高・深に基づいている。また死者・行方不明者数を各村でまとめ整理を行ったが、実際には被害者は他の場所で避難中に被災した可能性等も排除できず、居住する村で被災したという保証は無く、結果に少なからず不確実性を含んでいる点に注意されたい。また被害拡大要因の多くも現地聞き込み調査に基づいており、定量的な評価が現時点で行えておらず、今後更に定量・統計的な評価を実施する事が必要不可欠である。

今後は、高解像度地形データに基づく高潮氾濫解析などを実施し観測結果を空間的に補完することで、上記の不確実性を低減するとともに、聞き込み調査結果の統計的な解析を基に、被害拡大要因を定量的に評価していく予定である。

謝辞：本研究は、平成25年度東北大学総長裁量経費および災害科学国際研究所平成26年度特定プロジェクト（代表：呉修一）の支援を受けて実施された。本論文で使用した高潮浸水高・深データは、土木学会・フィリピン土木学会合同台風30号高潮災害調査グループ、2013年フィリピン高潮合同調査隊およびPAGASAが測定したデータを使用している。また、各村（Barangay）の死者・行方不明者データは、タクロバン市、パロ町、タナウアン町より、人口データはフィリピン統計局に提供頂いたものである。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

河田恵昭 (1997)：大規模地震災害による人的被害の予測，自然災害科学，Vol.16, No.1, pp. 3-13.

- 気象庁 (2013)：気象庁台風位置表2013年台風第30号，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1330.pdf> 参照 2014-5-21.
- 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明 (2009)：津波被害関数の構築，土木学会論文集B, Vol.65, No.4, pp. 320-331.
- 越村俊一・萱場真太郎 (2010)：1993年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考-津波被害関数の構築に向けて-，日本地震工学会論文集，Vol.10, No.3, pp.87-101.
- 宮本 守・田島芳満・安田誠宏・信岡尚道・川崎浩司・浅野雄司 (2014)：台風Haiyanによるフィリピン国における高潮災害と予警報活動，土木技術資料，Vol.52, No.6, pp.1-4.
- 中央防災会議 (2005)：東南海，南海地震等に関する専門調査会第10回 資料，http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankajishin/10/pdf/sankou_siryou.pdf参照 2014-5-21.
- 2013年フィリピン高潮合同調査隊(2013):調査報告，http://www.f.waseda.jp/shibayama/philippines_survey/philippines_survey.html 参照 2014-5-21.
- Bricker, J., H. Takagi, E. Mas, S. Kure, B. Adriano, C. Yi, and V. Roeber (2014): Spatial variation of damage due to storm surge and waves during Typhoon Haiyan in the Philippines, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 70, No. 2., (Accepted).
- iCyclone.com (2013): Super Typhoon Haiyan (Yolanda) Video, <http://www.icyclone.com/now/2013/nov/25-november-2013.html>参照 2014-5-21.
- Mas, E., S. Kure, J. Bricker, B. Adriano, C. Yi, A. Suppasri, S. Koshimura (2014): Field survey and damage inspection after the 2013 Typhoon Haiyan in The Philippines, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 70, No. 2., (Accepted).
- National Statistics Office (2002): Census of Population and Housing 2000, <http://www.census.gov.ph/statistics/census/population-and-housing/2000-CPH> 参照 2014-5-21.
- NDRRMC (2014a): SitRep No.107 Effects of Typhoon "YOLANDA" (HAIYAN) <http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Update%20Yolanda%20Sitrep%20107.pdf> 参照 2014-5-21.
- NDRRMC (2014b): SitRep No.45 Effects of Typhoon "YOLANDA" (HAIYAN) [http://www.ndrrmc.gov.ph/attachments/article/1125/UPD%20re%20SitRep%2045%20re%20Effects%20of%20TY%20YOLANDA%20\(27NOV2013\).pdf](http://www.ndrrmc.gov.ph/attachments/article/1125/UPD%20re%20SitRep%2045%20re%20Effects%20of%20TY%20YOLANDA%20(27NOV2013).pdf) 参照 2014-6-23.
- Suppasri, A., A. Muhari, P. Ranasinghe, E. Mas, N. Shuto, F. Imamura, and S. Koshimura (2012): Damage and reconstruction after the 2004 Indian Ocean tsunami and the 2011 Great East Japan tsunami, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 34, No.1, pp.19-39.
- Suppasri, A., N. Shuto, F. Imamura, S. Koshimura, E. Mas, and A.C. Yalciner (2013): Lessons learned from the 2011 Great East Japan Tsunami: Performance of tsunami counter measure, coastal buildings, and tsunami evacuation in Japan, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 170, pp.993-1018.
- Tajima, Y., T. Yasuda, B.M. Pacheco, E.C. Cruz, K. Kawasaki, H. Nobuoka, M. Miyamoto, Y. Asano, T. Arikawa, N.M. Ortigas, R. Aquino, W. Mata, J. Valdez, and F. Briones (2014): Initial report of JSCE-PICE joint survey on the storm surge disaster caused by Typhoon Haiyan, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 56, No.1, pp.1450006-1-12.
- U.S. Geological Survey (1993): Digital elevation models, data user guide 5, Reston, Virginia, pp.50.
- Yasuda, T., S. Sota, S. Kim, H. Mase, N. Mori, and K. Horsburgh (2014): Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state-of-the-art climate change projection, *Coastal Engineering*, Vol. 83, pp.65-71.