

2017年ハリケーン Irma および Maria による アメリカ領ヴァージン諸島災害調査報告 土木学会海岸工学委員会

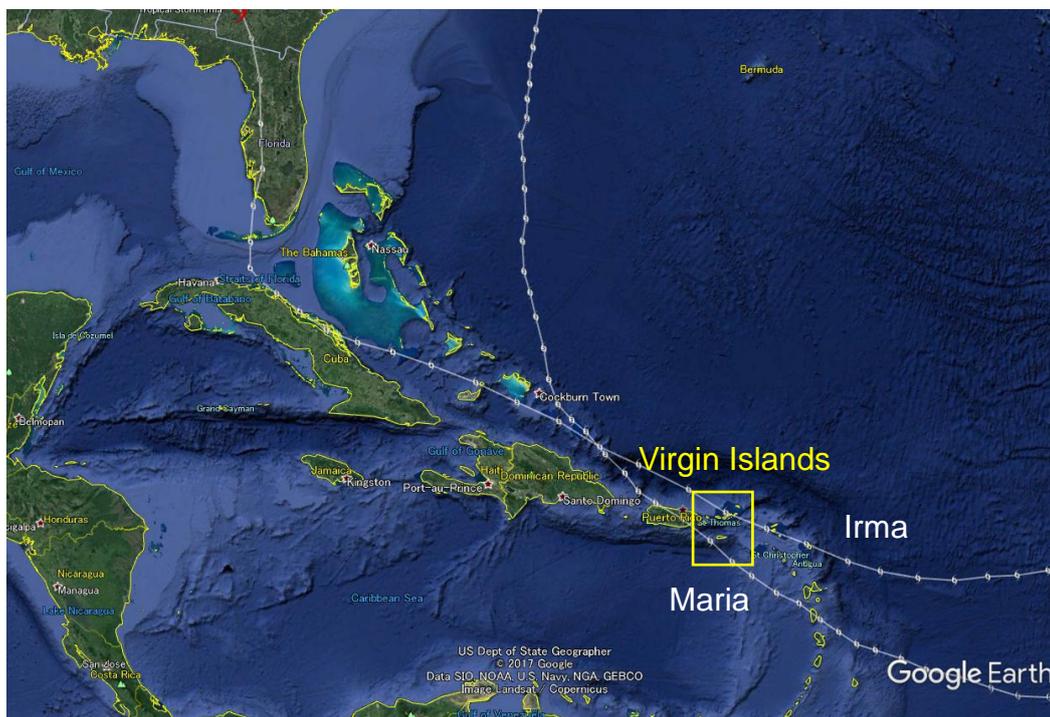


1. 目的と概要

2017年8月末に大西洋で発生したハリケーン Irma は、9月5日にはカテゴリー5となり中心気圧931hPa、最盛期には914hPaまで発達した。7日には図1に示すようにヴァージン諸島に進行し、アメリカ領ヴァージン諸島 St. Thomas 島の北方約20km 沖合を通過した。続いて、9月16日にハリケーンとなったハリケーン Maria は、908hPaまで発達し、大西洋において過去に10番目に強いハリケーンとなった。カテゴリー5まで発達したハリケーン Maria は、図1に示すようにヴァージン諸島 St. Croix 島の南側を通過した。この2つのカテゴリー5のハリケーンは、アメリカ領ヴァージン諸島に甚大な被害を与えたとともに、強い2つの熱帯低気圧が1週間という短期間でほぼ同じ場所を通過するという特異な

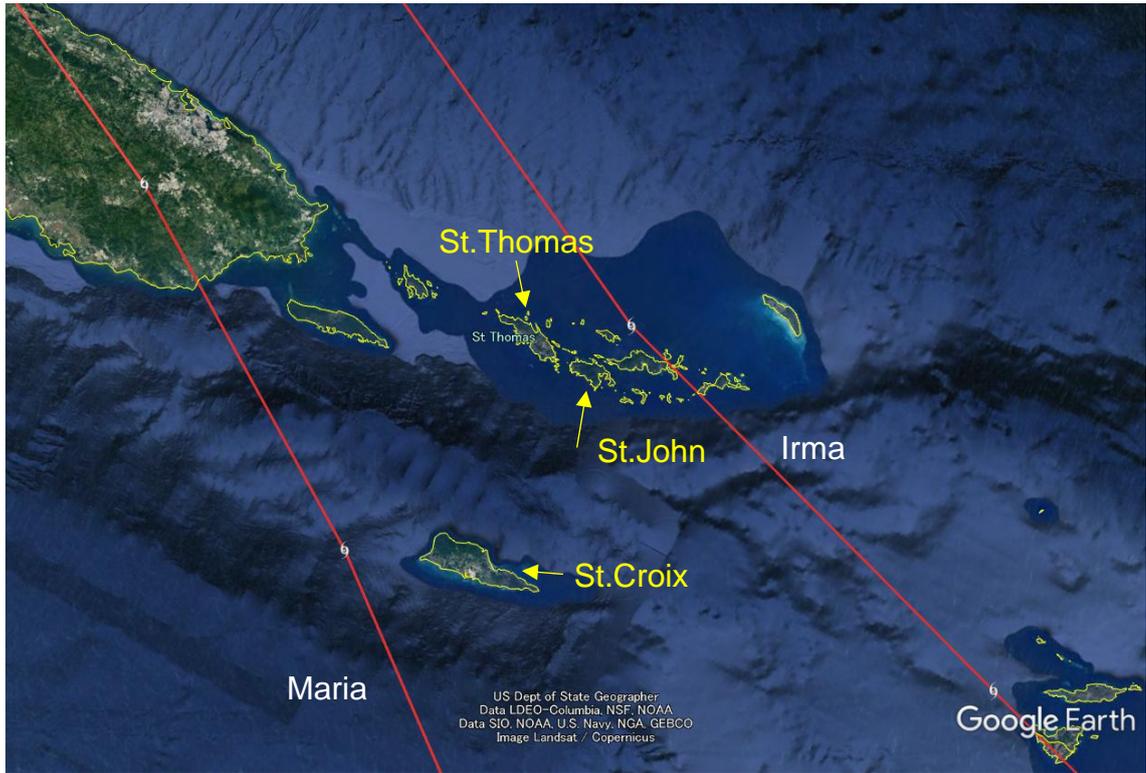
事例となった。

そこで、土木学会海岸工学委員会ではアメリカ National Science Foundation Rapid による調査チームと合同で、アメリカ領ヴァージン諸島における沿岸災害について、現地調査を行った。本調査では、沿岸部の被災状況の記録、沿岸部の浸水範囲の計測、砂浜の地形変化、建築物の強風被害、避難に関する情報収集等を行った。これらの調査活動を通じて、今回のハリケーン被害の特徴を記録するとともに、アメリカ領ヴァージン諸島 (USVI) に特徴的な情報を収集し、将来の台風被害軽減に資する知見を得た。



(a) 全体

図 1 : US ヴァージン諸島とハリケーン Irma および Maria の経路



(b) 拡大図

図 1 : US ヴァージン諸島とハリケーン Irma および Maria の経路 (続き)

2. 調査内容

- 調査員

JSCE	Affiliation (所属)
Nobuhito Mori (森 信人)	Kyoto University (京都大学)
Taro Arikawa (有川太郎)	Chuo University (中央大学)
Takenori Shimozono (下園武範)	University of Tokyo (東京大学)
Daisuke Inazu (稲津大祐)	Tokyo U Marine Science Technology (東京海洋大学)
Tomoya Shimura (志村智也)	Kyoto University (京都大学)
NSF Coastal	
Greg Guannel	University of Virgin Islands
Andrew Kennedy	University of Notre Dame
Daniel Cox	Oregon State University

Andre Barbosa	Oregon State University
Ritchie Slocum	Oregon State University
Chase Simpson	Oregon State University
NSF STEER	
Dave Prevatt	U Florida
Yue Li	Case Western
David Roueche	Auburn U
Kwasi Perry	UAV Survey Inc.

- 日 程

- 11月8日(水) 成田発, アトランタ着
- 11月9日 アトランタ発, ヴァージン諸島 St. Thomas 島着
- この間, St. Thomas 島, St. John 島および St. Croix 島において調査 (図2は調査経路)
- 11月14~16日に, 一部メンバーがアメリカ合衆国フロリダ州に避難状況の調査
- 11月13~15日に順次帰国 (JSCE側参加者)



(a) St. Thomas 島



(b) St. John 島



(c) St. Croix 島

図 2 : 調査ルート of 概要

- 調査項目
 - 現地観測データの入手
 - ◇ 気象データ (NOAA)
 - ◇ 海象データ (NOAA National Buoy Data Center)
 - ◇ 地形および地図データおよび航空写真 (NOAA)
 - 沿岸災害

- ◇ 沿岸部の被災状況の目視
- ◇ カメラ・リモートコントロールヘリによる撮影
- ◇ 測量機器による浸水範囲および浸水高の計測
- ◇ ソナーによる海底地形の計測
- 強風災害
 - ◇ 建物の被災状況の目視
 - ◇ カメラ・リモートコントロールヘリによる撮影
 - ◇ 構造, 材料, 施工方法の調査

3. 主な結果

3-1 沿岸災害

衛星観測されたアメリカ領ヴァージン諸島再接近時の中心気圧は **Irma** で 918hPa, **Maria** で 913hPa であり, 気圧低下分による吸い上げによる海面上昇は約 1m となる. アメリカ領ヴァージン諸島東側沖における有義波高は 12~20m と推察される. アメリカ領ヴァージン諸島の地形は **St. Thomas** および **John** は急峻, **St. Croix** は比較的平坦である. このため, 今回のハリケーンによる高潮・高波による沿岸災害は, 3 島で異なる形態が観測された. また, ハリケーン **Irma** と **Maria** のコースが異なるため, 同じ島においても, 南北海岸で 2 つのハリケーンによる被害の差が見られた. 調査の範囲で顕著な被害が見られたのは, **St. Thomas** 島の南側中央部に位置するシャーロット・アマリー (**Charlotte Amalie**) 市街地の浸水, **St. Croix** 島における海岸侵食および越波であった.

写真 1 に示すのは, **St. Thomas** 島南海岸の **Pacquereau Bay** に位置するホテルの被災の様子であり, 大規模な砂浜の後退と, サンゴ等の礫の打ち上げによる建物被害, 強風による屋根の損壊が見られた. 写真 2 に示すのは, **St. Croix** 島南西端の **Frederksted** 南部における海岸侵食とこれに伴う道路の陥没の様子である. 付近の砂浜海岸では, 数キロに及ぶ砂浜の消失が見られ, 観光業に大きなダメージを与えていた.

サンゴ等による岩礁を持つ沿岸部では, 吸い上げと波浪およびこれに起因するセットアップ (海面上昇) により, **St. Thomas** 島および **St. John** 島で 2m 以上, **St. Croix** 島で 6m 以上の遡上高を計測した (図 3). 今回の調査で計測した最大の遡上高は **St. Croix** 島北西海岸における 6.4m であり, 強風による被災と合わせて, 2 つの連続したハリケーンにより, 3 島全体において複雑な被災形態が見られた.



写真 1 : St. Thomas 島南東海岸におけるホテル被災の様子 (高さ 6m)



写真 2 : St. Croix 島 Frederiksted における海岸侵食 (赤点線が本来の海岸線)

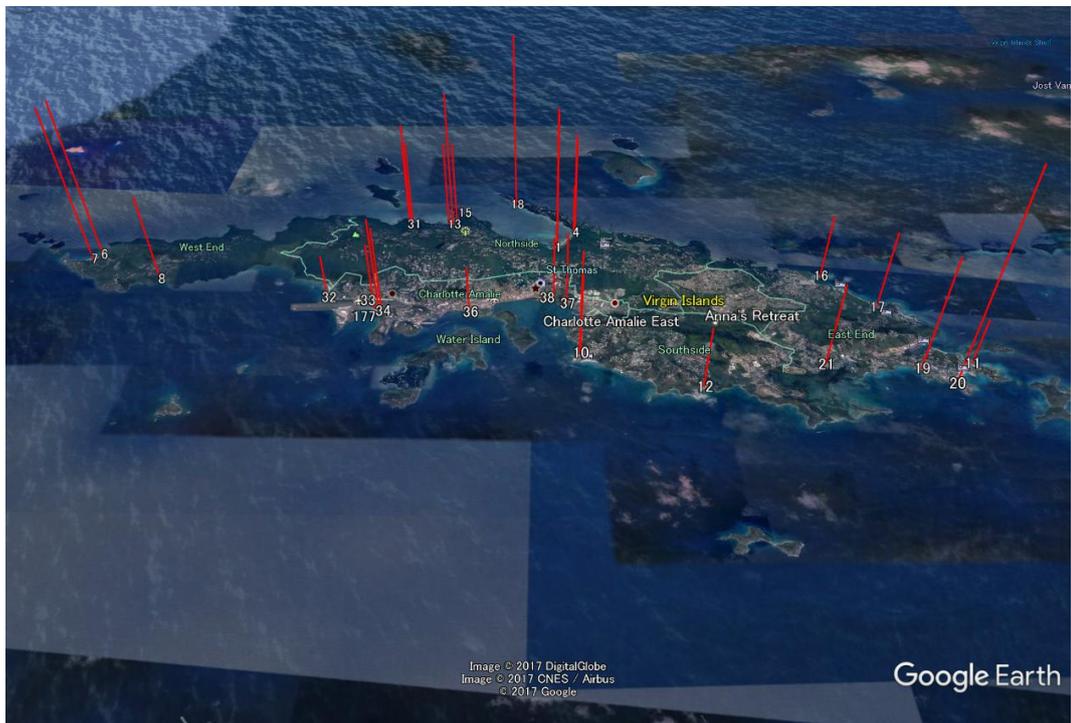


図 3 : St. Thomas 島の浸水・遡上高の空間分布 (最大で 6.4m)

3-2 強風災害, インフラ

ヴァージン諸島では、1995年のハリケーン Marilyn (カテゴリー3) により大きなダメージを受けており、その後に建築基準が変更されている。基本的な建築物はアメリカ本土の基準に則って建造されており、アメリカ本土よりも大きな設計外力が設定されている。このため、1995年建築以降の多くの建物については、壊滅的な被害が見られなかった。屋根の一部損壊や全壊は見られたが、壁そのものが被害を受けた建物はそれほど多く見られなかった。

一方で、電線・電柱の被害は広い範囲で見られ、調査を行った11月初旬においても、St. Thomas島の広い範囲、St. Croix島の南東部では停電が続いていた。水道については、各家庭に汲み置き施設があるものの電気が復旧していない地域において組み上げられないため、不住な生活を送っていた。携帯電話、インターネットも同様であり、地形の起伏の激しい St. Thomas 島では、不通の地域が多く見られた。

3-3 避難

3-3-1 ヴァージン諸島における避難状況について

アメリカ領ヴァージン諸島における緊急時の対応は、Virgin Islands Territorial Emergency Management Agency (VITEMA)が行っている。ハリケーン Irma に対しては、

9月5日にアメリカ大統領から非常事態宣言 (Emergency Declaration the territory) が発令され、FEMA (Federal Emergency Management Agency) と一体となってハリケーンの対応にあたることとなった。これは、事後の対応 (がれきの撤去等) を意識したものであり、事前対応については、VITEMA の責任として対応した。VITEMA は、ハリケーン Irma ならびに Maria において、避難所をオープンさせ、また、外出禁止令 (Curfew) が発令された。避難所は、ハリケーン Irma に対しては9月6日、Maria に対しては、9月17日にそれぞれオープンされている。ハリケーン Irma による被害の復旧作業中に Maria は来襲したが、VITEMA は、Facebook や TV, ラジオを通して、ハリケーンの危険性およびそれに対する準備を常に訴えていた。

避難状況であるが、観光客のほとんどは、ハリケーン Irma の襲来の前に、島外に逃げた。避難所の収容人数は、1つの場所に対して、数百人程度であり、St. Thomas 島の人口 48,000 人、St. Croix 島の人口 52,000 人の全員を収容可能とするものではなかった。さらに、VITEMA としても、カテゴリ3以上の台風に対し、建物が耐えられるかどうかについては不明瞭であるという見解を述べていた。しかし、島民は、ほとんどの人が自宅もしくは親類の家で待機して過ごした。その結果、St. Thomas 島では 1,200 名、St. Croix 島では 225 名の方が、避難所に避難したことがわかった。

3-3-2 フロリダにおける避難状況について

ハリケーン Irma と Maria について、フロリダ州における大規模避難の実態を把握するため、避難状況のヒアリングを、行政機関や住民などに対して行った。ヒアリング対象は、フロリダ州モンロー郡の危機管理センター (Emergency Operating Center, EOC)、フロリダ州の危機管理部門、病院の危機管理部門そして住民数名である。

アメリカにおける危機管理部門は、Federal (連邦) レベル、State (州) レベル、County (郡) レベルとあるが、避難の判断は、County レベルで行うことになっており、State レベルでは、その支援にあたるとしている。一方で、大統領における非常事態宣言が発令された場合、County だけで処理できないレベルの被害を Federal レベルでサポートできる体制が組むことができる。しかし、この場合においても、避難を行うかどうかの判断は、County レベルに任されている。

フロリダキーズに直接カテゴリ4の台風が作用したのは57年ぶりのことであり、フロリダキーズより以南にカテゴリ4が影響したのは98年ぶりという事態であったが、フロリダ州モンロー郡の EOC は、ハリケーン Irma の襲来が予測された際、およそ48時間前にモンロー郡より避難するように命令が出された。モンロー郡の住人のうち、7割から8割の人がマイアミもしくはそれよりも北部に向けて避難を開始したが、マイアミ付近から渋滞が始まり、普段の数倍の時間、避難に要したということが住民からのヒアリングからも明らかになった。

フロリダ州の危機管理部門に渋滞の改善策についてヒアリングを行ったところ、具体的

な策としてはまだ見えていないものの、予測精度の向上に応じて、適切な避難がなされるような方向にしたいということを述べていた。具体的な言葉としては、**Shadow Evacuation**という言葉が出ていたが、避難をする必要のない人の避難を、いかにコントロールするかということが大事であると言っていた。他方、民間の病院においても、他の病院との連携は常に考えられており、およそ12年間かけて作られた緊急時の病院間の連携マニュアルを見せていただいた。また、モンロー郡においても、関係機関を集めた**AAR(After-Action Review)**が開催されるなど、緊急時における行動や住民の戻ってくる時点の見直しなどがなされており、そのような地道な連携が地域の災害に対する粘り強さを作るのだろうと感じた。

3-4 全体を通じて

US ヴァージン諸島では、アメリカの建築基準に従った建築物が殆どであり、強風で全壊した建物は殆ど見られなかった。事前に水・食料の備蓄および自家発電を用意した一般家庭も多く、事前情報も含めて発展途上国に比べて準備は格段に良い環境であった。

沿岸災害については、砂浜の大規模な侵食、沿岸沿部に立地するホテル、レストランの高潮・高波による浸水および破壊が数多く見られた。被災したホテルについては、操業再開まで1~2年を要するものも多く、全産業の半分を占める観光業に対する大きなインパクトが感じられた。砂浜の侵食についてそのリカバリーについての長期観測が必要であると思われる。

4. 今後の展開

今回の調査対象である2017年のハリケーン **Irma** および **Maria** による被害調査から、巨大台風による災害形態の特徴の把握、台風、波浪の数値モデルの改良、被害軽減のための工学的・社会的アプローチ、避難のための方策について研究を進める予定である。