

2012年ハリケーンサンディによる高潮災害の ニューヨークにおける現地調査に基づく 臨海都市域の浸水災害と減災策に関する考察

早稲田大学大学院創造理工学研究科 三上 貴仁
早稲田大学理工学術院 柴山 知也
東京大学大学院新領域創成科学研究科 Miguel Esteban



※本発表内容は第38回海洋開発シンポジウム(土木学会, 2013年6月)で発表した内容に加筆したものです

はじめに

2012年ハリケーンサンディによる高潮災害

- ハリケーンサンディ(Sandy)は10月29日夜にアメリカ東海岸に上陸し、ニューヨーク州やニュージャージー州の沿岸部において高潮災害が発生。
- ニューヨーク州マンハッタン地区では、変電所の浸水による停電や地下鉄を含む地下空間の浸水など、**都市機能に大きな被害**が発生。

臨海都市域の浸水災害

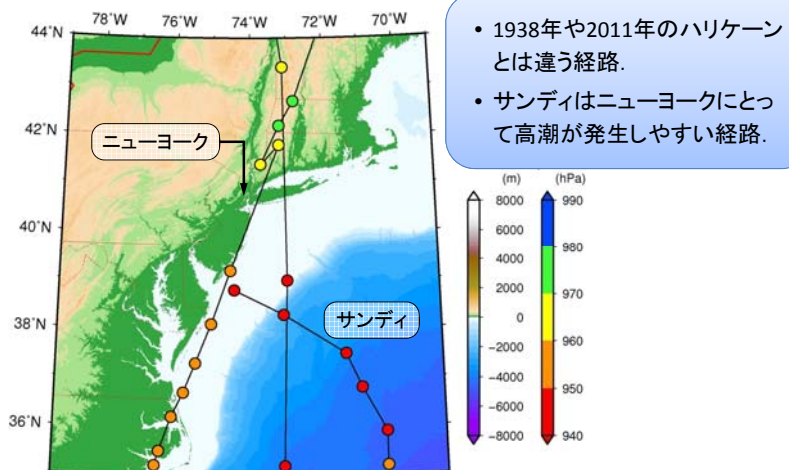
- マンハッタン地区のような臨海都市域が高潮や津波などの沿岸からの浸水によってその都市機能を失った事例は少ない。
- そのため、主に数値計算や水理実験を用いて被害を想定し、減災策を論じるという研究がなされてきた。

- ・ 現地調査等で得られた結果をもとに、**サンディによるニューヨーク市での高潮災害の実態**をまとめ、これらの情報をもとに、**日本の臨海都市域における浸水災害の減災策を考える際に重要となる視点**について論じる。

1

ハリケーンサンディとそれに伴う高潮の特徴

ハリケーンサンディの経路

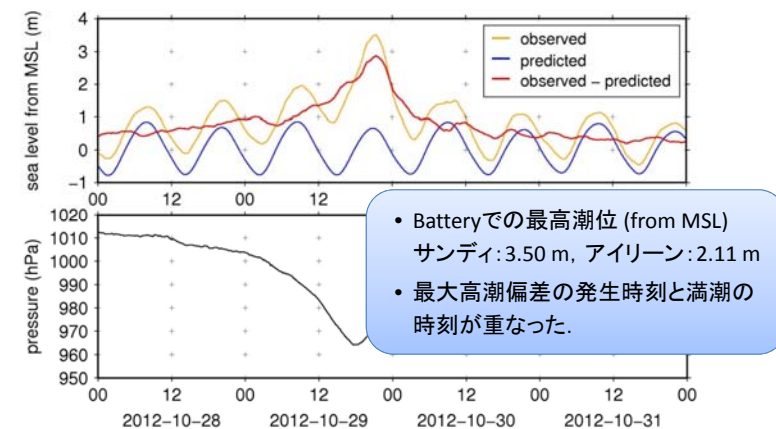


トラックデータ出典: Unisys Weather (<http://weather.unisys.com/hurricane/>)

2

ハリケーンサンディとそれに伴う高潮の特徴

潮位の観測記録(Battery, マンハッタン最南端部)



観測データ出典: NOAA (<http://tidesandcurrents.noaa.gov/>)

3

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の概要

- 期間: 2012年11月9日～12日
- 場所: マンハッタン地区, スタテン島



4

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — 痕跡高

- マンハッタン地区で2.5mから3mの浸水高.
- スタテン島の南部で4m前後の浸水高.

No.	場所	緯度	経度	浸水深 (m)	浸水深 (m)	海岸線からの距離 (m)	痕跡の種類
1	South Street Seaport	N 40°42.343'	W 74°00.186'	2.65	1.14	45	Mudline (inside)
2	Fulton Street	N 40°42.373'	W 74°00.200'	2.59	1.99	100	Mudline (outside)
3	Fulton Street	N 40°42.396'	W 74°00.216'	2.82	1.89	150	Mudline (outside)
4	Fulton Street	N 40°42.403'	W 74°00.204'	2.69	1.72	150	Mudline (outside)
5	Fulton Street	N 40°42.415'	W 74°00.232'	2.96	1.57	185	Mudline (inside)
6	Fulton Street	N 40°42.432'	W 74°00.225'	2.87	1.21	210	Mudline (inside)
7	Fulton Street	N 40°42.456'	W 74°00.262'	2.61	0.59	275	Mudline (inside)
8	Pier 11	N 40°42.197'	W 74°00.381'	2.62	1.26	< 20	Mudline (inside)
9	Wall Street	N 40°42.287'	W 74°00.392'	2.51	1.35	105	Mudline (inside)
10	Wall Street	N 40°42.323'	W 74°00.453'	2.68	0.44	210	Mudline (inside)
11	New Dorp Beach (Staten Island)	N 40°33.987'	W 74°06.112'	-	0.76	650	Mudline (inside)
12	New Dorp Beach (Staten Island)	N 40°33.727'	W 74°05.842'	4.03	2.22	55	Drift on a tree
13	New Dorp Beach (Staten Island)	N 40°33.862'	W 74°05.682'	3.44	1.88	115	Mudline (inside)
14	Wolfe's Pond Park (Staten Island)	N 40°30.764'	W 74°11.572'	4.22	2.55	35	Drift on a tree
15	East River side (E 23rd St)	N 40°44.120'	W 73°58.469'	2.57	1.26	< 20	Mudline (inside)
16	East River side (E 25th St)	N 40°44.206'	W 73°58.453'	-	1.24	45	Mudline (outside)
17	East River side (E 30th St)	N 40°44.416'	W 73°58.346'	-	1.16	< 20	Mudline (outside)
18	Substation	N 40°43.742'	W 73°58.515'	-	1.32	320	Mudline (outside)
19	Substation	N 40°43.604'	W 73°58.419'	-	0.96	190	Mudline (outside)
20	Hudson River side (St Clair Pl)	N 40°49.071'	W 73°57.676'	-	-	70	Eyewitness ("reached here")

5

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — 痕跡高

- マンハッタン地区で2.5mから3mの浸水高.
- スタテン島の南部で4m前後の浸水高.

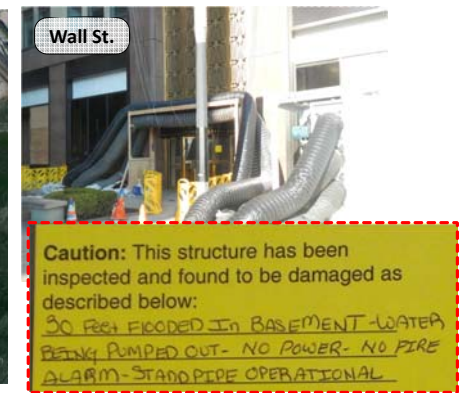
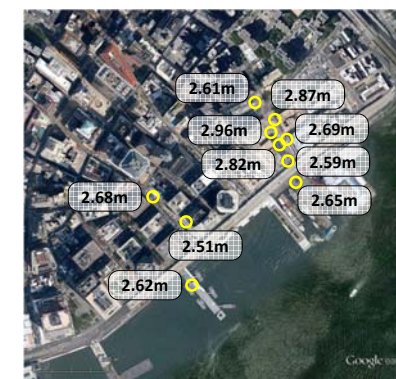


6

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — マンハッタン地区南部

- Fulton St, Wall St沿いで, 2.5～3mの痕跡高を計測(海岸線から200～300m).
- 建物への大きな被害は見られず, 排水作業を行うポンプ車が見られた.

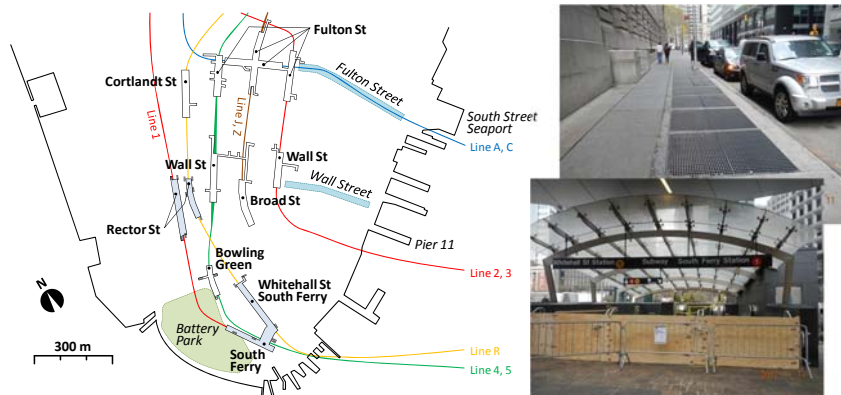


7

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — マンハッタン地区南部

- 3駅(South Ferry, Whitehall St, Rector St)は復旧作業中(11月10日時点)。
- 海岸線に沿って浸水対策のための構造物は見られなかった。

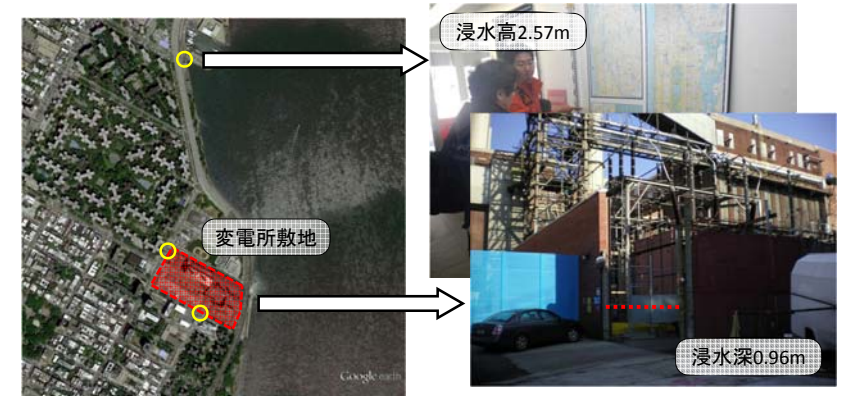


8

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — マンハッタン地区南東部

- イーストリバー沿いでも浸水痕跡を確認(浸水高は2.57m)。
- 変電所敷地周囲の浸水深は1m前後であり、少なくとも施設内建物の1階と地下部分は浸水したと考えられる。



9

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — マンハッタン地区西北部

- ハドソン川沿いに公園が広がっており、公園の標高が十分に高い。
- 公園の北端部の道路で、海岸線から約70mの位置まで浸水。



10

高潮による浸水被害に関する現地調査

現地調査の結果 — スタテン島

- 浸水高は4m前後(New Dorp: 4.03 mと3.44 m, Prince's Bay: 4.22 m)。
- マンハッタン地区と比べて浸水高が大きいだけでなく、流れによる被害も大きかった(建物被害, 海岸線付近での局所的な洗掘)。



11

ニューヨーク市のサンディへの対応

ニューヨーク市内の動き

- ニューヨーク市 (<http://www.nyc.gov/>)
- MTA (Metropolitan Transportation Authority, <http://www.mta.info/>)

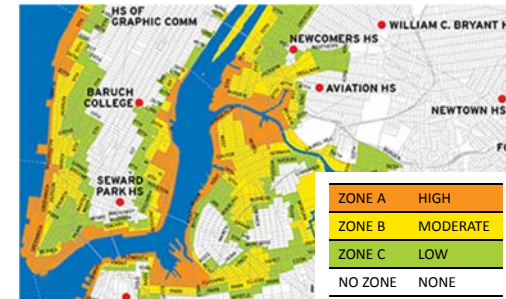
日付	ニューヨーク市内の動き	停電地域内の人数
10月26日(金) 10月27日(土)	・市長、MTAともにサンディへの準備体制を整えていることを発表し、市民へ注意を促す(土曜日時点では強制避難や地下鉄・バスの運休について可能性はあるとしているが決定はしていない。停電の可能性についても言及している。)	
10月28日(日)	・MTAが地下鉄とバスの運休を発表 ・市長がZone A内の住民への強制避難と月曜日の学校閉鎖を発表 ・午後7時より地下鉄、午後9時よりバスの運行を休止	
10月29日(月)	・午後8時頃サンディが上陸し、午後9時24分にBatteryにて最高潮位を記録	
10月30日(火)	・道路や橋の清掃、復旧作業を開始	750,000
10月31日(水)	・朝にはバスの大半が運行	643,000
11月01日(木)	・水や食料の配布を開始	534,000
11月02日(金)	・マンハッタン地区での停電の復旧作業を開始	460,000
11月03日(土)	・寒さ対策のため、避難所への送迎バスの運行や毛布の配布を開始 ・地下鉄の約8割が復旧	194,000
11月04日(日)		145,000
11月05日(月)	・学校の大半が再開(避難所として使用している8校と被害を受けた57校を除く)	115,000

12

ニューヨーク市のサンディへの対応

ニューヨーク市の対応

- Zone A(浸水可能性の高い標高の低い地域)の住民への避難措置
- 地下鉄とバスの運休(ハリケーン上陸の前日から)
- 2011年ハリケーンアイリーンの経験



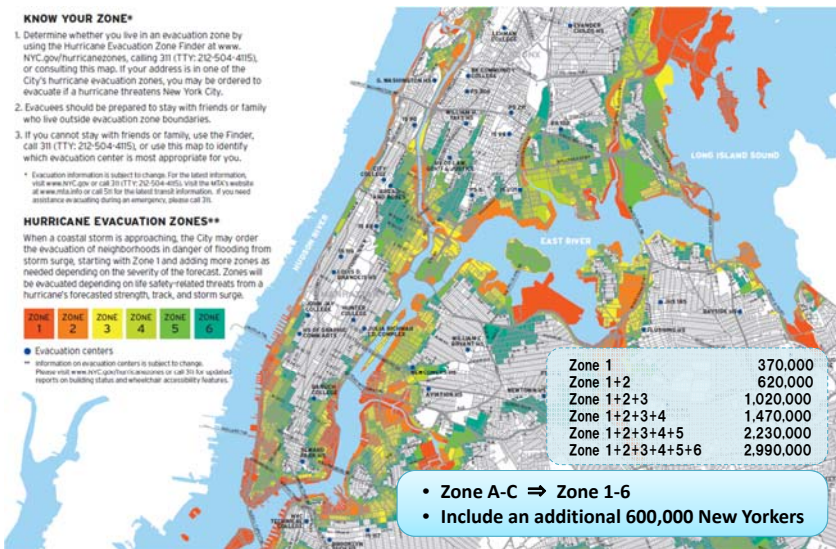
出典: NYC Hazards: Hurricane Evacuation Zones
http://www.nyc.gov/html/oem/html/hazards/storms_evaczones.shtml

Let me remind you that during **Hurricane Irene**, these areas were put under a mandatory evacuation order. (Oct. 26, Mayor Bloomberg)

The MTA last suspended service during **Tropical Storm Irene** in August 2011, when it successfully helped people get to safety before the storm (Oct. 26, mta.info)

13

Updated Hurricane Evacuation Zones (June 2013)



出典: NYC.GOV <http://www.nyc.gov/>

14

日本の臨海都市域における浸水災害の減災策

地下空間における浸水災害の評価

- 地下鉄への浸水により、一部の駅は復旧に長期間かかっている。



South Ferry 駅の浸水状況
出典: MTA Webサイト

台風0314号 (Maemi) の高潮により、韓国馬山市において地下駐車場や店舗に浸水被害が生じた(安田ら, 2004)

津波による地下空間への流入量は、総氾濫水量の約25%(河田ら, 1999)、または約10%(安田ら, 2003)に達する

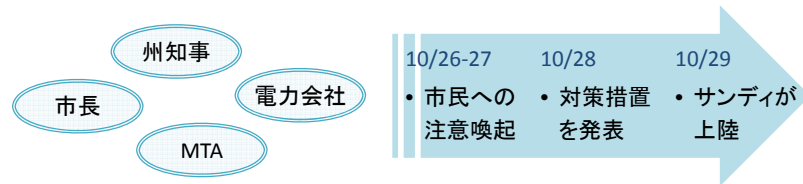
- 地下への浸水可能性のある地点の標高を正確に把握する。
- 浸水量とそれに応じた排水機能を準備できるかどうかについて評価する。

15

日本の臨海都市域における浸水災害の減災策

人的被害軽減のための措置

- ニューヨーク市では、住民の安全確保のために、住民の強制避難と公共交通機関の運行停止という対策措置を実施した。
- これらを実施するにあたっては、台風接近に伴い、州知事、市長、MTA、電力会社等が議論に参加した。



- ・避難措置：避難しなければならない人数と避難場所の収容人数。
- ・交通機関の停止：情報の周知方法や停止時・復旧時の代替手段。

16

日本の臨海都市域における浸水災害の減災策

異なる浸水形態（高潮と津波）の想定

- ニューヨーク市 ⇒ ハリケーンによる高潮
- 日本の臨海都市域 ⇒ 台風による高潮、地震による津波

台風による高潮

- ・台風の接近に伴い数日の準備期間がある。
- ・事前の対策措置、住民への注意喚起が必要。

地震による津波

- ・地震が発生してから数分～数時間後に浸水が始まる。
- ・災害に関する知識をもっておくこと、即応的な減災方法が必要。

- ・同じ浸水災害であっても、**高潮と津波ではその浸水形態が異なり**、それに応じてなすべき減災策も異なる。
- ・日本の臨海都市域ではそれぞれの特徴を踏まえた議論が必要。

17

まとめ

2012年ハリケーンサンディによる高潮災害

- ハリケーンサンディによる高潮被害を受けたニューヨーク州マンハッタン地区とスタテン島で現地調査を実施し、被害情報を収集した。
- 現地調査結果やウェブ上で収集した情報をもとに、ハリケーン襲来時にニューヨーク市で発生したことを整理した。

臨海都市域の浸水災害と減災策

- ニューヨークでの経緯をもとに、日本の臨海都市域での浸水災害を考える際に検討すべき項目として、以下の3点を取り上げて論じた。
 - － 地下空間における浸水災害の評価
 - － 人的被害軽減のための措置
 - － 異なる浸水形態（高潮と津波）の想定
- 日本では東京をはじめとした臨海都市域での大規模な浸水災害を近年はあまり経験していない。ニューヨーク市での経緯を今後も注意深く観察し、情報を分析して具体的な減災策へと活かしていく必要がある。

18

地域特性と沿岸災害の理解

- 津波の挙動や被災形態は、地域特性を受けて大きく変化する。
- 津波防災を考えるには、影響を与える特性を地域ごとに分析する必要がある。

表 津波被災程度に影響を与える地域特性

物理的な条件	・ 地理的条件（水深、島、河川、水路、砂丘、海岸林、湾形、サンゴ礁） ・ 居住地の状態（居住地域と高台との距離、住宅の強度、人口密度） ・ 想定される地震（規模、波源からの距離、地震発生サイクル） ・ 既存のハード対策（防波堤、堤防、シェルター、避難所） ・ 漂流物の有無（船、コンテナ、樹木）
社会的な条件	・ 過去の経験（被災経験の有無とその伝承） ・ 教育水準（一般的な教育水準、防災に関する教育水準） ・ 警報システム（システムの有無、発信内容） ・ 集落内部での結び付き（住民の日常での付き合い、集落での意思決定プロセス） ・ 居住者以外の存在（土地と関係の薄い観光客や労働者の有無） ・ 沿岸域での産業への依存度（漁業、工場） ・ インフラの整備度合い
時間的な条件	・ 時間帯（朝方、昼間、夜間） ・ 天候（雨、雪） ・ 季節（春夏秋冬、乾季雨季の存在）

19

地域の特性と沿岸災害の理解

- 沿岸災害研究では、地域の特性が「災害が引き起こす外力」「被害を軽減する能力」「被害から回復する能力」に与える影響を理解することが必要。

