

減災研究の国際展開のための災害研究基盤の形成  
第1回複合災害研究会 早稲田大学 2013.10.04

# 津波災害の実態調査と 数値シミュレーション

三上 貴仁

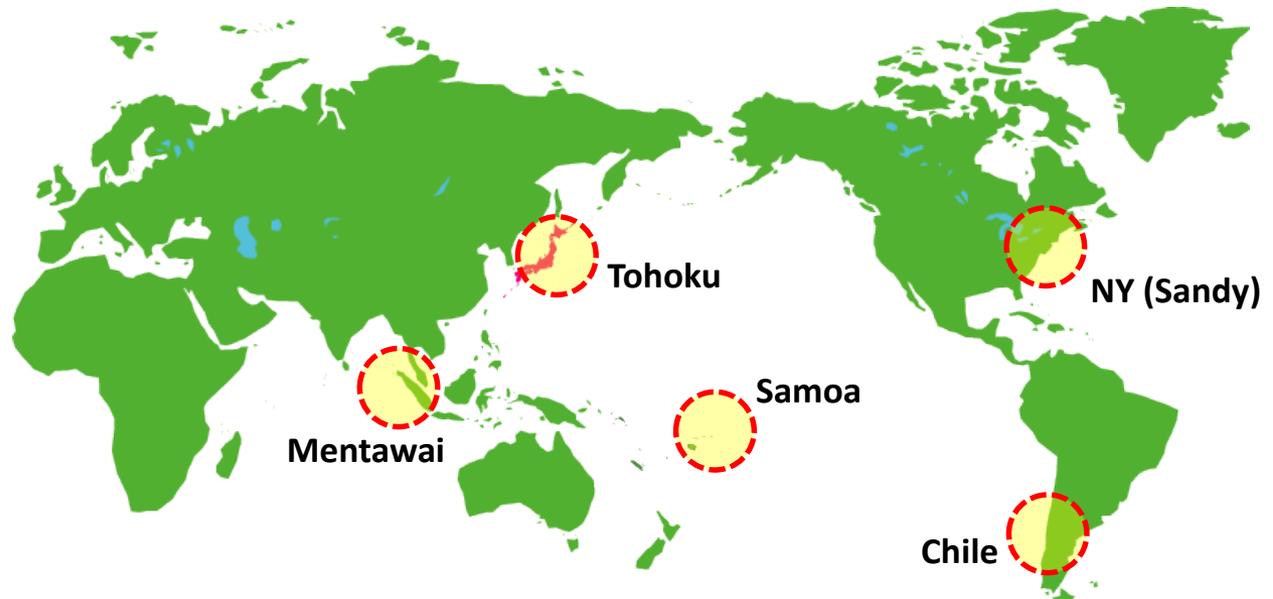
日本学術振興会特別研究員  
早稲田大学大学院創造理工学研究科建設工学専攻



# はじめに

## 近年の主な沿岸災害

- 2009年サモア諸島沖地震津波
- 2010年チリ沖地震津波
- 2010年インドネシア・メンタワイ諸島沖地震津波
- 2011年東北地方太平洋沖地震津波
- 2012年ハリケーン・サンディ高潮



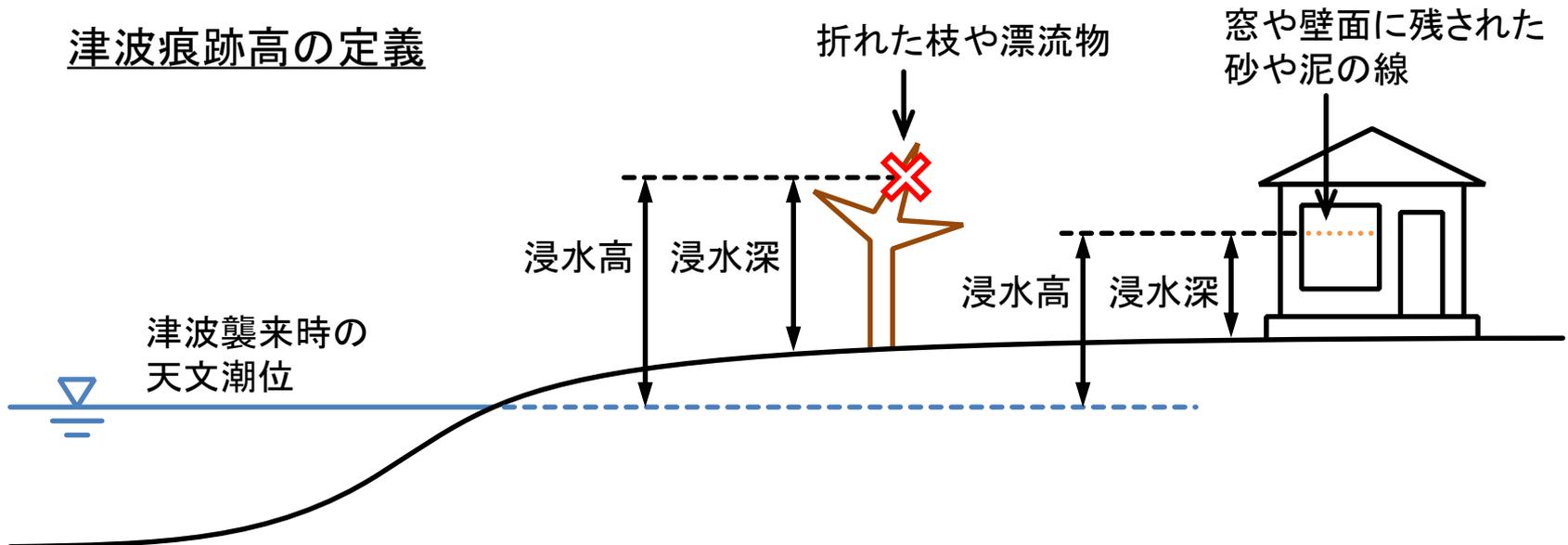
# 津波の実態調査

## 調査内容

- 津波痕跡高の計測
  - 浸水高, 距離
- 被災住民への聞き取り調査
  - 被災時の様子, 生活の変化



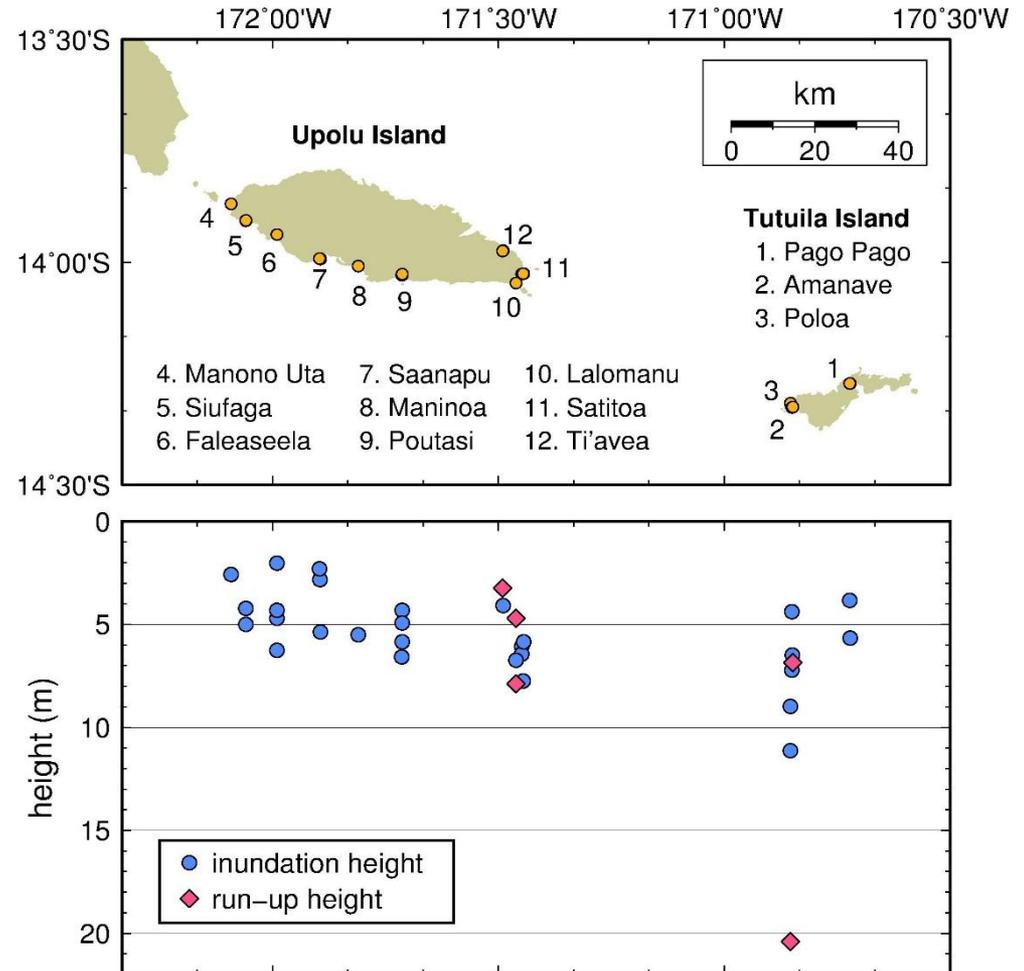
## 津波痕跡高の定義



# 2009年サモア諸島沖地震津波

## 災害概要と調査

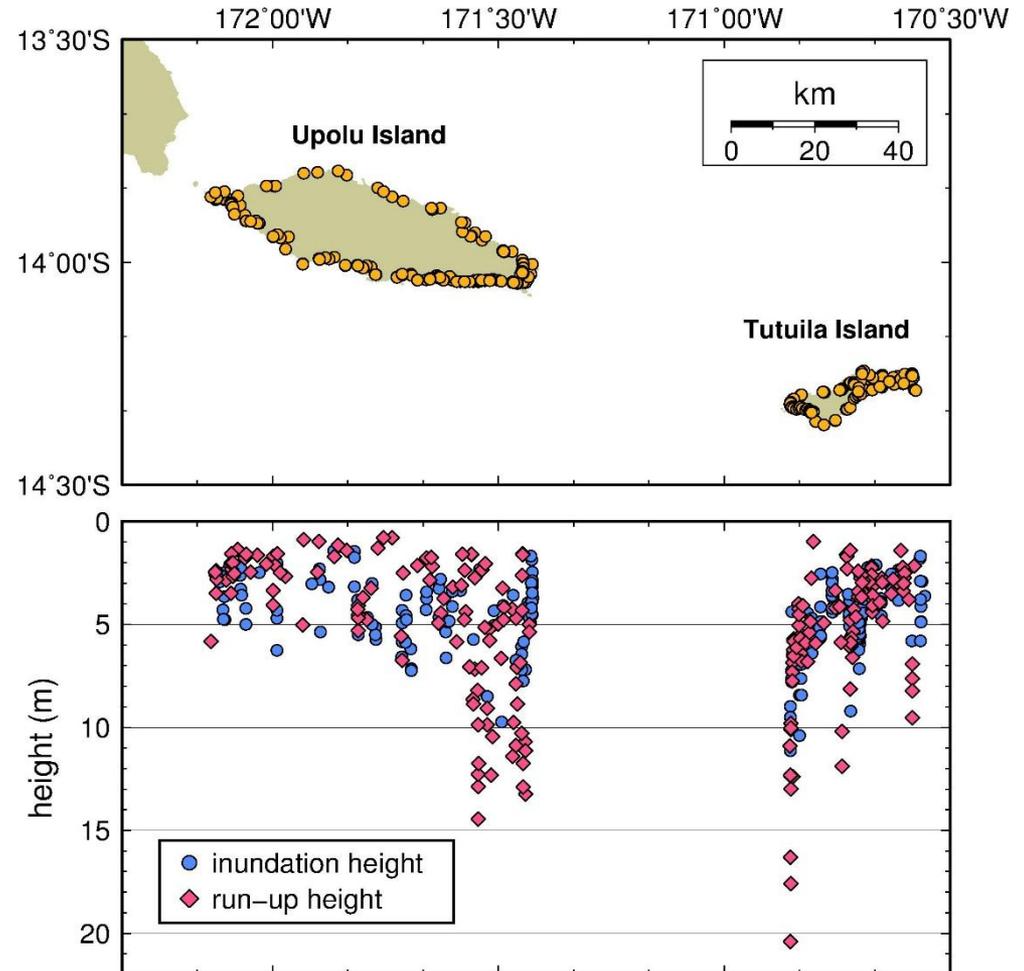
- 2009年9月29日6時48分  
(現地時間, UTC-11)
- サモア諸島の南約200kmの位置を震源としたMw8.0の地震が発生
- 津波による死者は  
サモア独立国:149人  
米領サモア:34人  
トンガ:9人
- 調査は, 2009年10月28日から10月31日にかけて実施



# 2009年サモア諸島沖地震津波

## 災害概要と調査

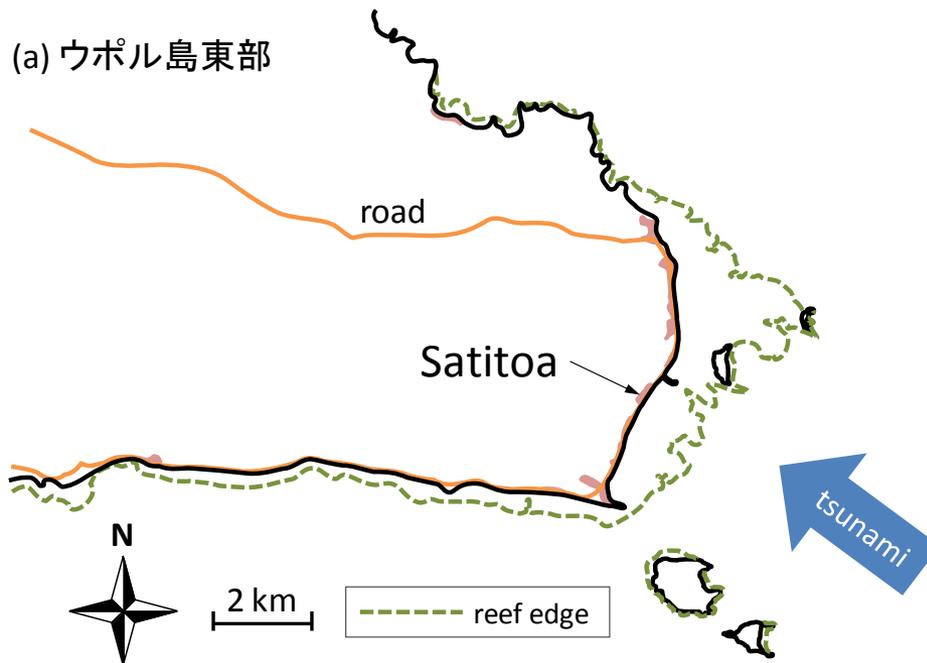
- 2009年9月29日6時48分  
(現地時間, UTC-11)
- サモア諸島の南約200kmの位置を震源としたMw8.0の地震が発生
- 津波による死者は  
サモア独立国:149人  
米領サモア:34人  
トンガ:9人
- 調査は, 2009年10月28日から10月31日にかけて実施



# 2009年サモア諸島沖地震津波

## 島を取り囲むサンゴ礁リーフの効果

- 島を取り囲むリーフの幅が広い地域(1km以上)では、リーフ上で波が砕けながら進んでくる様子が見え、住民はいち早く危険に気づいた。
- リーフ上で波が砕けることによって、湾奥部で津波のエネルギーが減衰した効果も確認された。



サンゴ礁リーフの広がる浅瀬

# 2009年サモア諸島沖地震津波

## 居住地の移転と地域社会

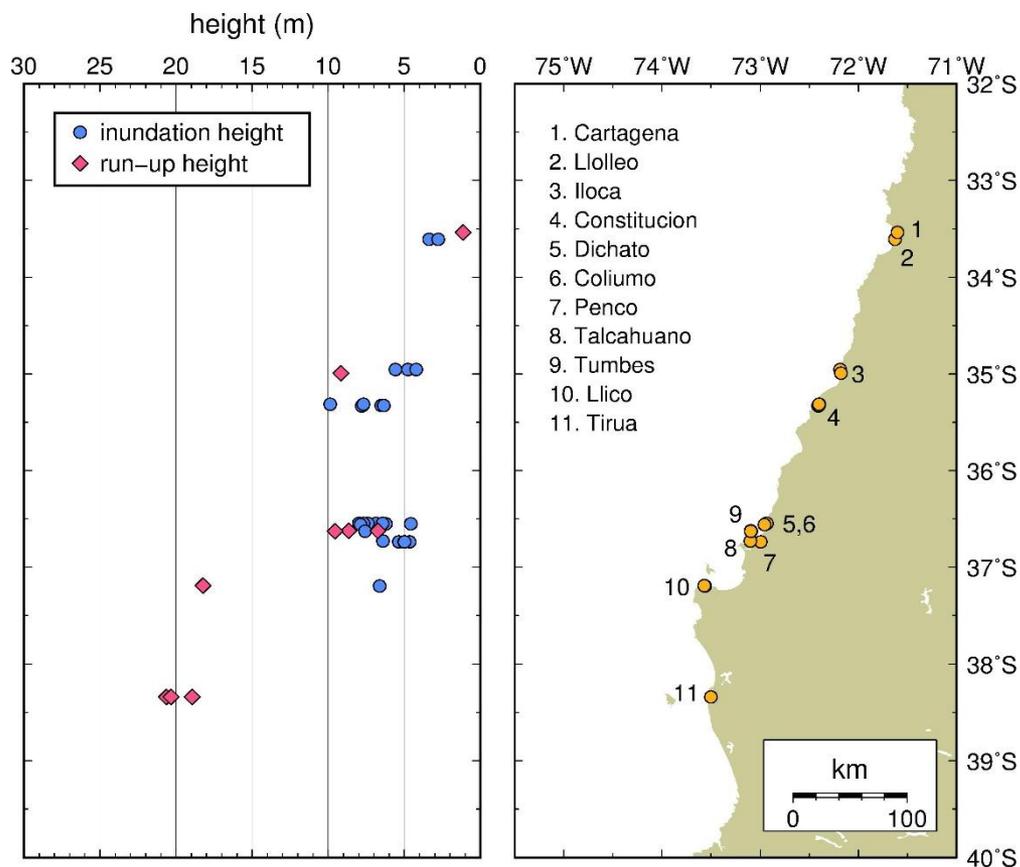
- サモア社会の特徴として、地域社会の構造が極めて強固であることと、酋長であるマタイの権限が強いことが挙げられる。
- 被災後1ヶ月が経過した現地調査時にも、既に居住地の高地移転を決めていた村が見られた(Ulutogia)。
- 強いリーダーシップを持つマタイの存在が、被災後の居住地移転に際しうまく機能したと考えられる。



# 2010年チリ沖地震津波

## 災害概要と調査

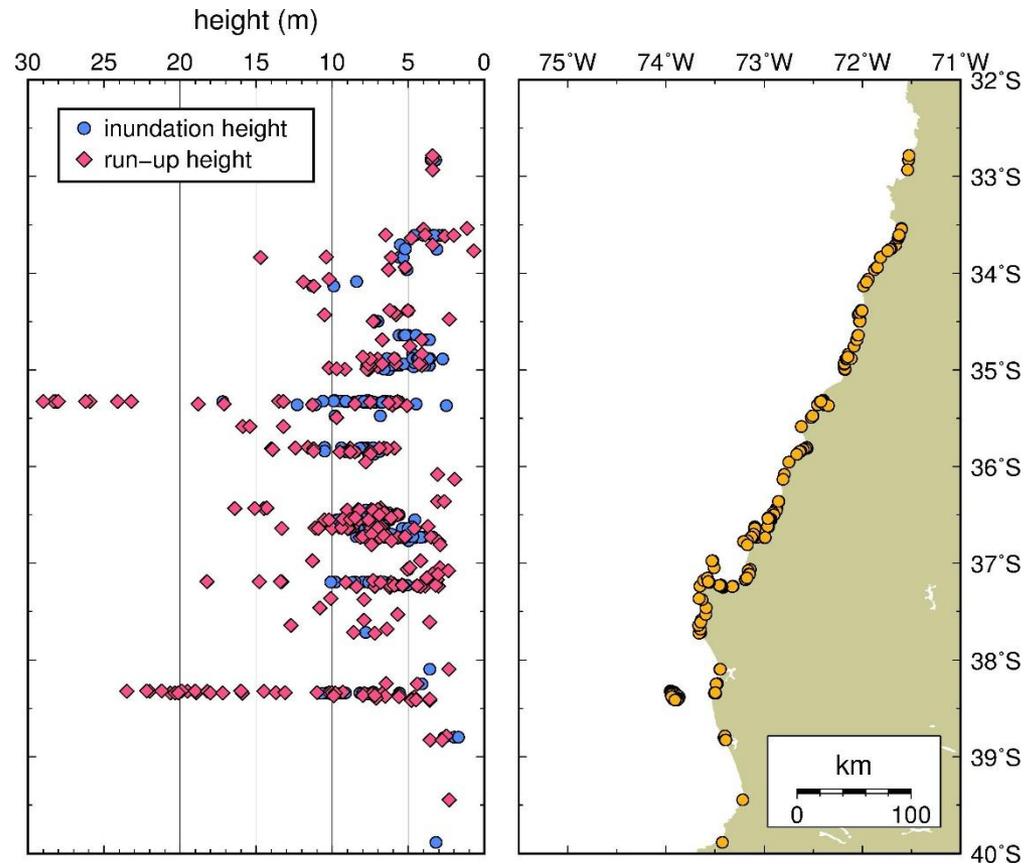
- 2010年2月27日3時34分  
(現地夏時間, UTC-3)
- チリ中部沖を震源とした  
Mw8.8の地震が発生
- 津波による死者は521人,  
行方不明者は56人
- 津波は地震発生から20時  
間以上後に日本の太平洋  
沿岸にも到達(宮古湾奥で  
浸水高が2mを超えた)
- 調査は, 2010年4月3日  
から4月8日にかけて実施



# 2010年チリ沖地震津波

## 災害概要と調査

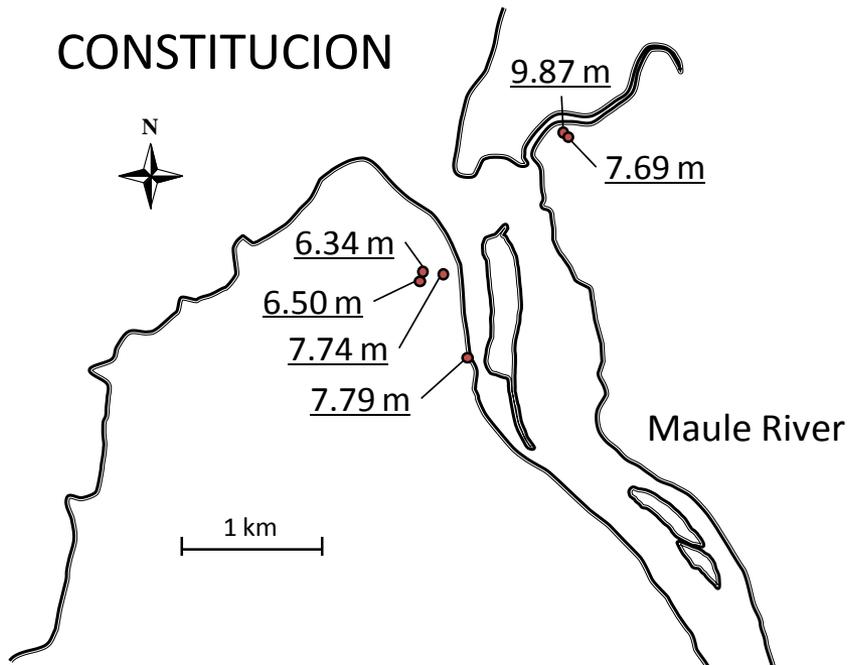
- 2010年2月27日3時34分  
(現地夏時間, UTC-3)
- チリ中部沖を震源とした  
Mw8.8の地震が発生
- 津波による死者は521人,  
行方不明者は56人
- 津波は地震発生から20時  
間以上後に日本の太平洋  
沿岸にも到達(宮古湾奥で  
浸水高が2mを超えた)
- 調査は, 2010年4月3日  
から4月8日にかけて実施



# 2010年チリ沖地震津波

## 被災程度を左右した要因

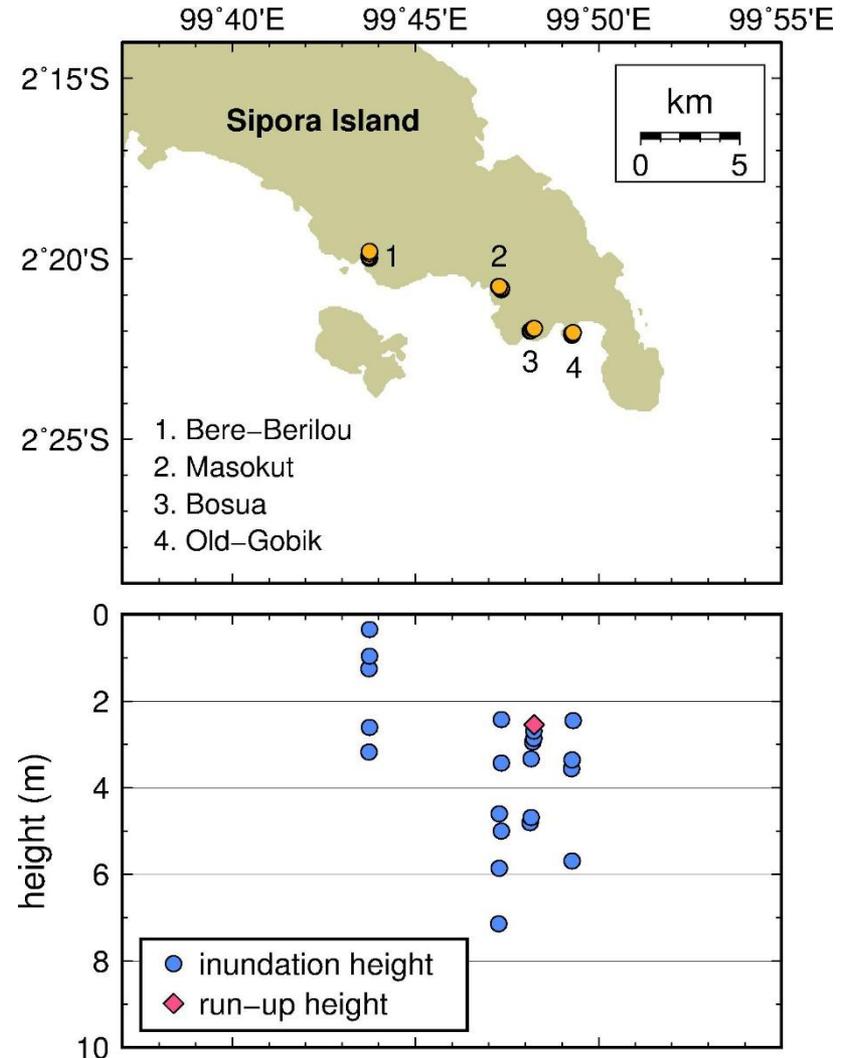
- 1960年チリ津波・2004年インド洋大津波を契機として、沿岸で生活する住民の間に津波に関する知識がいきわたっていた(+地震の揺れも強かった).
- Constitucionでは津波により100人ほどが亡くなったが、その大半はキャンプで川の中州にいた人たちであった.



# 2010年インドネシア・メンタワイ諸島沖地震津波

## 災害概要と調査

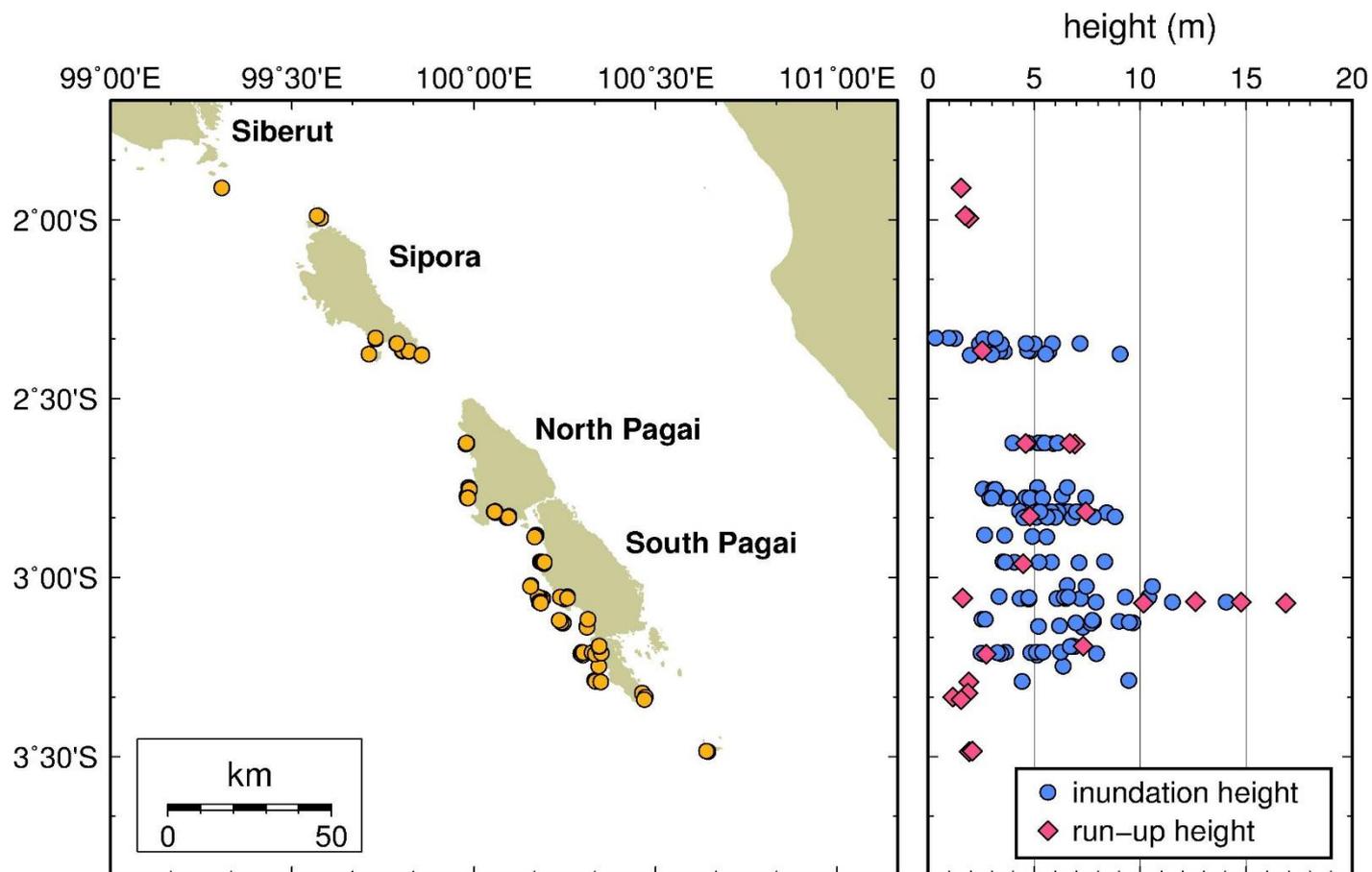
- 2010年10月25日21時42分  
(現地時間, UTC+7)
- インドネシア・スマトラ島の  
西海岸に広がるメンタワイ  
諸島沖を震源とするMw7.7  
の地震が発生
- 津波による死者は340人,  
行方不明者は330人
- 調査は, 2010年11月19日  
から11月20日にかけて実施



# 2010年インドネシア・メンタワイ諸島沖地震津波

## 災害概要と調査

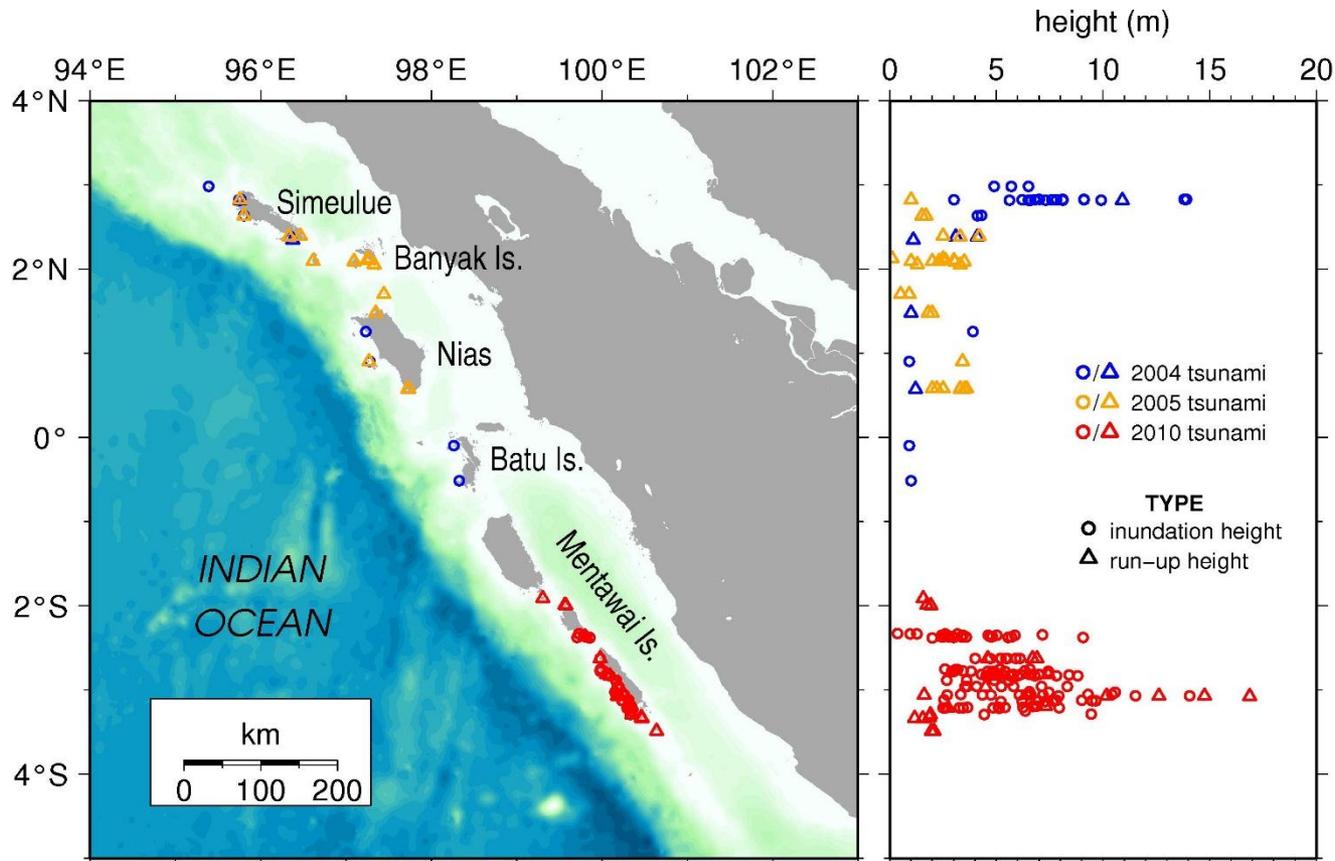
- 震源に近い南北Pagai島, Sipora島で被害大



# 2010年インドネシア・メンタワイ諸島沖地震津波

## 離島における災害経験の蓄積

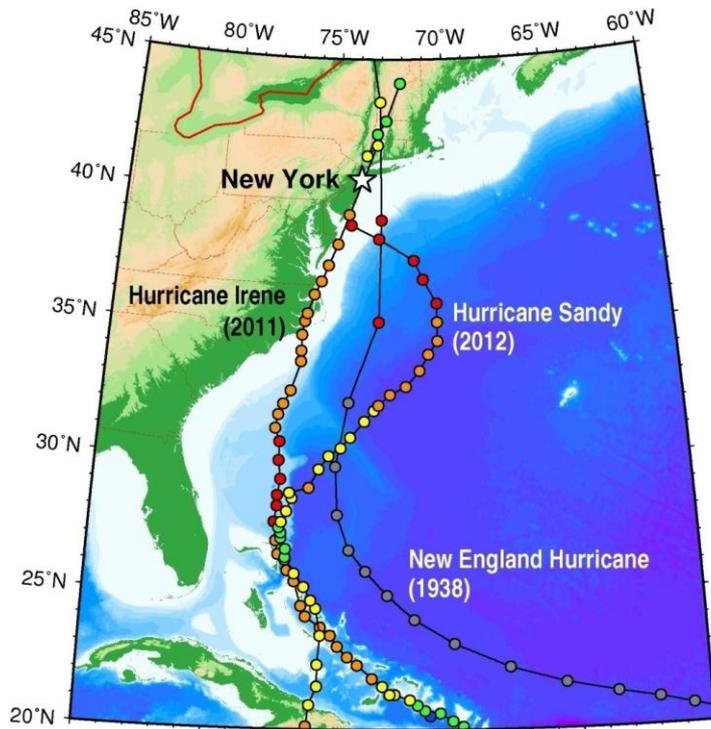
- 津波に関する避難訓練や教育の有無は集落ごとに異なる(インタビューより).
- ひとつの島や集落に注目すれば津波の発生頻度は百年に一度程度.



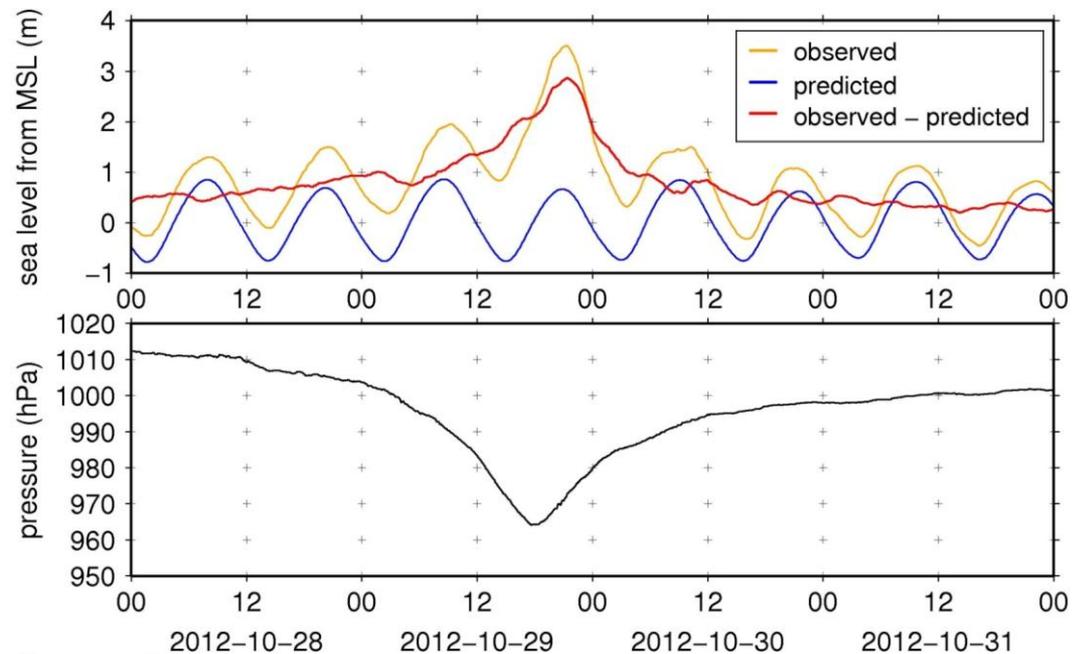
# 2012年ハリケーンサンディ高潮

## 災害概要と調査

- NYにとって不利な条件が重なった(ハリケーンの経路+潮位).
- ニューヨーク州マンハッタンとスタテン島で調査を実施.



ハリケーンの経路



水位と気圧の時間変動

# 2012年ハリケーンサンディ高潮

## 災害概要と調査

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



# 2012年ハリケーンサンディ高潮

## 直近の被災経験と教訓

- 2011年ハリケーンアイリーの経験
  - ⇒ 住民へのアナウンス, 地下鉄車両の浸水危険箇所からの移動.



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)

出典: NYC Hazards: Hurricane Evacuation Zones  
[http://www.nyc.gov/html/oem/html/hazards/storms\\_evaczones.shtml](http://www.nyc.gov/html/oem/html/hazards/storms_evaczones.shtml)

# 2012年ハリケーンサンディ高潮

## Updated Hurricane Evacuation Zones (June 2013)

### KNOW YOUR ZONE\*

1. Determine whether you live in an evacuation zone by using the Hurricane Evacuation Zone Finder at [www.NYC.gov/hurricanezones](http://www.NYC.gov/hurricanezones), calling 311 (TTY: 212-504-4115), or consulting this map. If your address is in one of the City's hurricane evacuation zones, you may be ordered to evacuate if a hurricane threatens New York City.
2. Evacuees should be prepared to stay with friends or family who live outside evacuation zone boundaries.
3. If you cannot stay with friends or family, use the Finder, call 311 (TTY: 212-504-4115), or use this map to identify which evacuation center is most appropriate for you.

\* Evacuation information is subject to change. For the latest information, visit [www.NYC.gov](http://www.NYC.gov) or call 311 (TTY: 212-504-4115). Visit the MTA's website at [www.mta.info](http://www.mta.info) or call 511 for the latest transit information. If you need assistance evacuating during an emergency, please call 311.

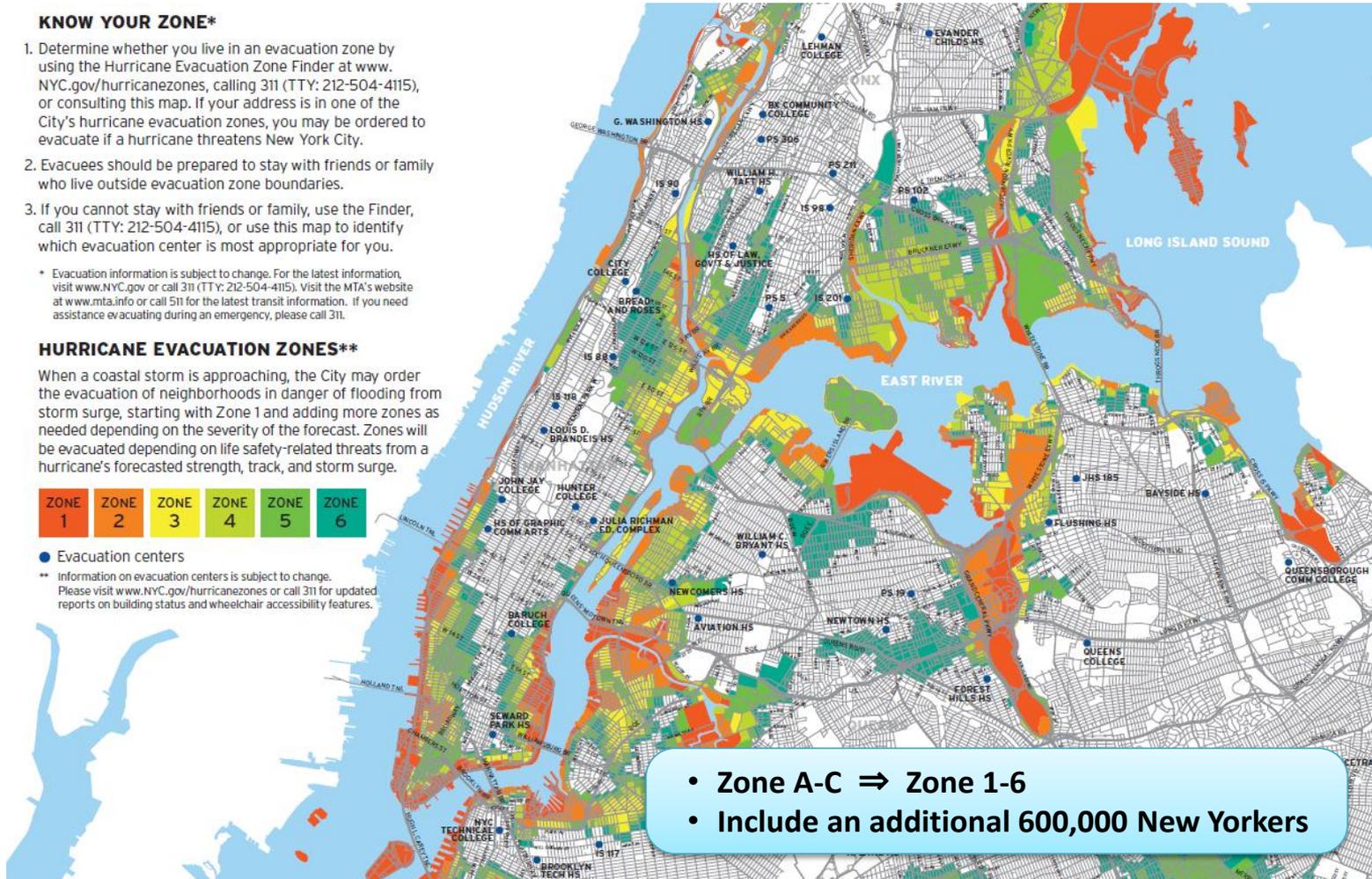
### HURRICANE EVACUATION ZONES\*\*

When a coastal storm is approaching, the City may order the evacuation of neighborhoods in danger of flooding from storm surge, starting with Zone 1 and adding more zones as needed depending on the severity of the forecast. Zones will be evacuated depending on life safety-related threats from a hurricane's forecasted strength, track, and storm surge.



● Evacuation centers

\*\* Information on evacuation centers is subject to change. Please visit [www.NYC.gov/hurricanezones](http://www.NYC.gov/hurricanezones) or call 311 for updated reports on building status and wheelchair accessibility features.



# 津波の数値シミュレーション

## 津波の数値計算

- 支配方程式: 非線形長波方程式
- 断層モデルによる地盤変動を初期水位変動として入力.

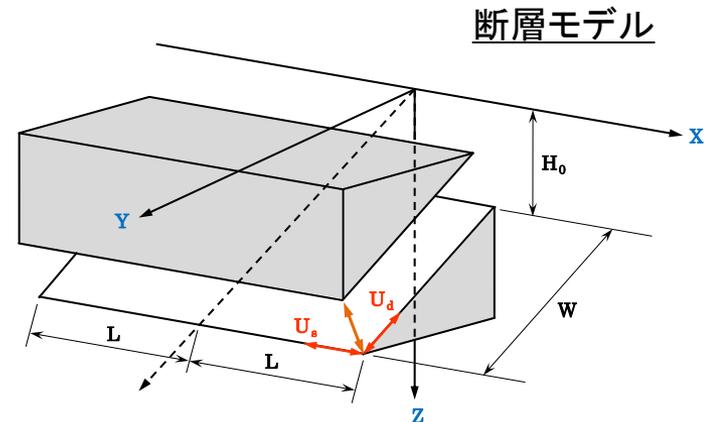
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

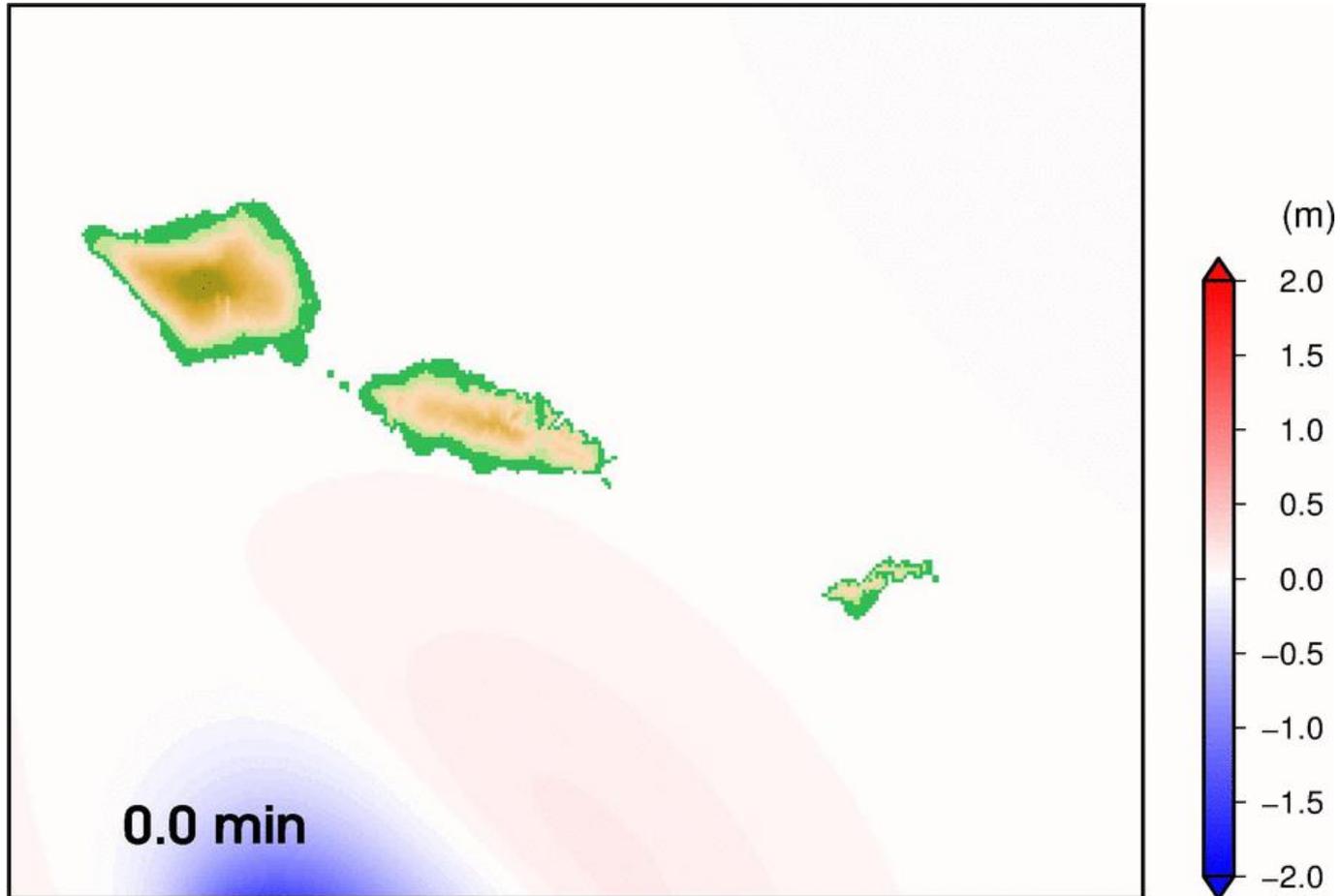
ここで,

- $\eta$  : 水位の変動量
- $M, N$  :  $x, y$ 方向の線流量
- $D$  : 全水深
- $g$  : 重力加速度
- $n$  : Manningの粗度係数



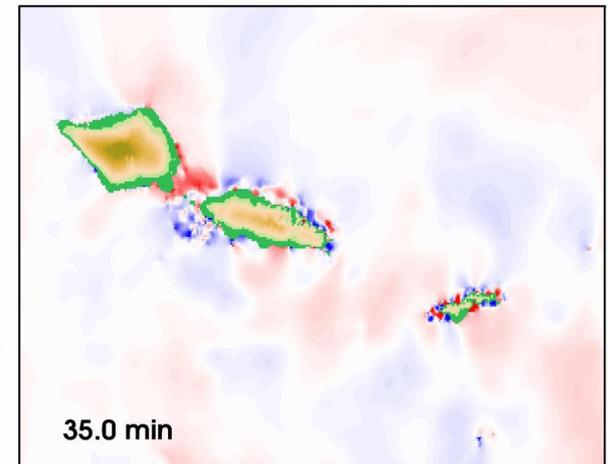
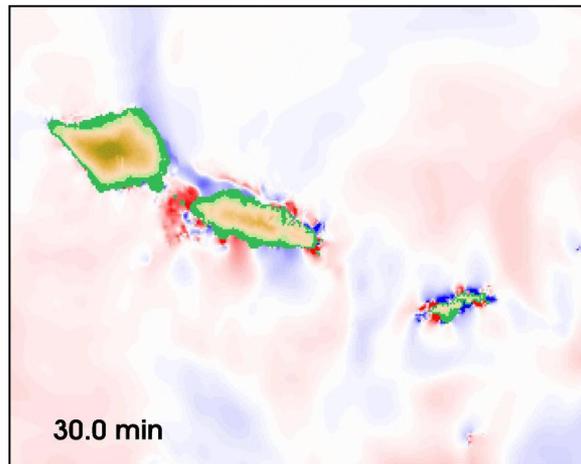
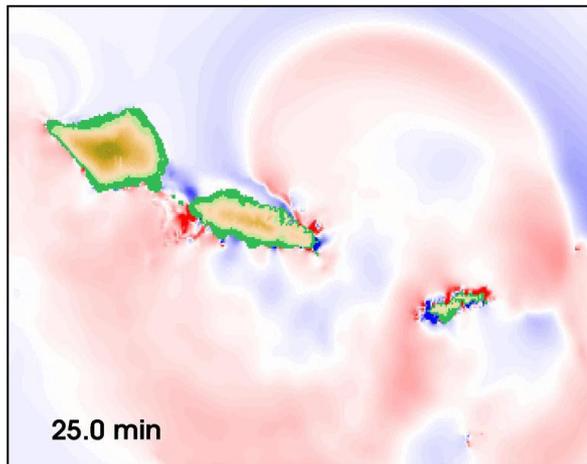
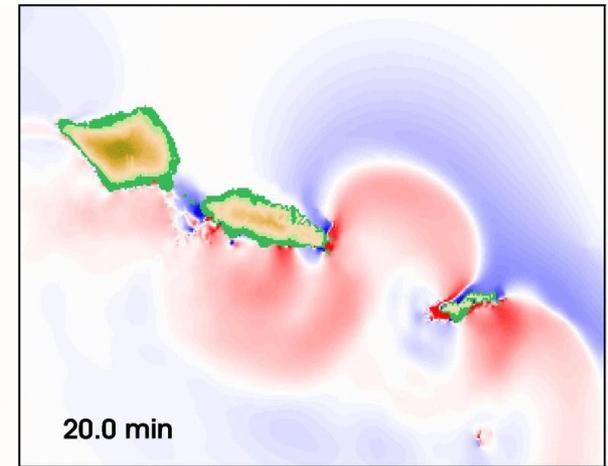
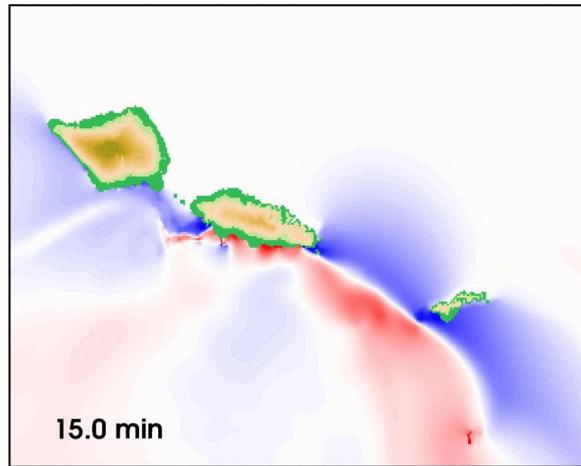
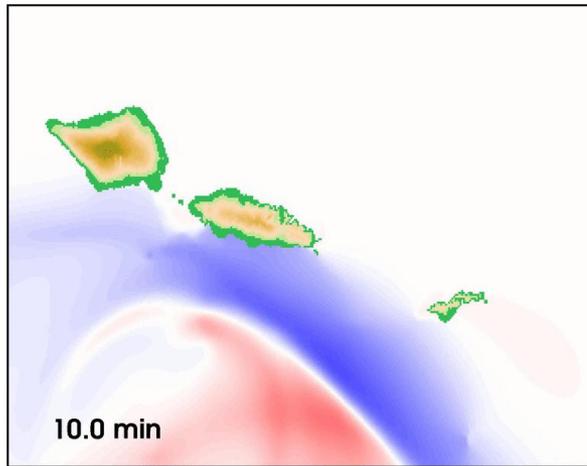
# 津波の数値シミュレーション

## サモア諸島沖地震津波



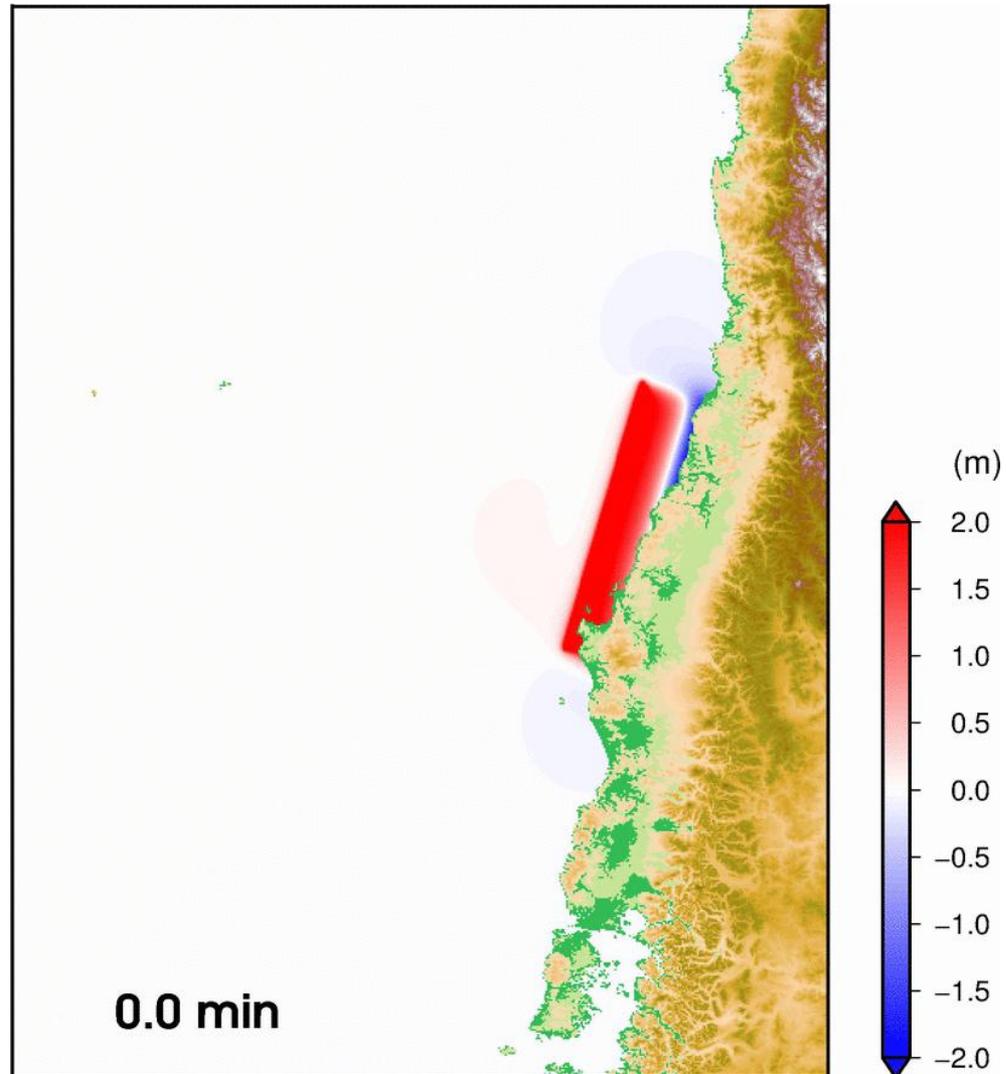
# 津波の数値シミュレーション

## サモア諸島沖地震津波



# 津波の数値シミュレーション

## チリ沖地震津波

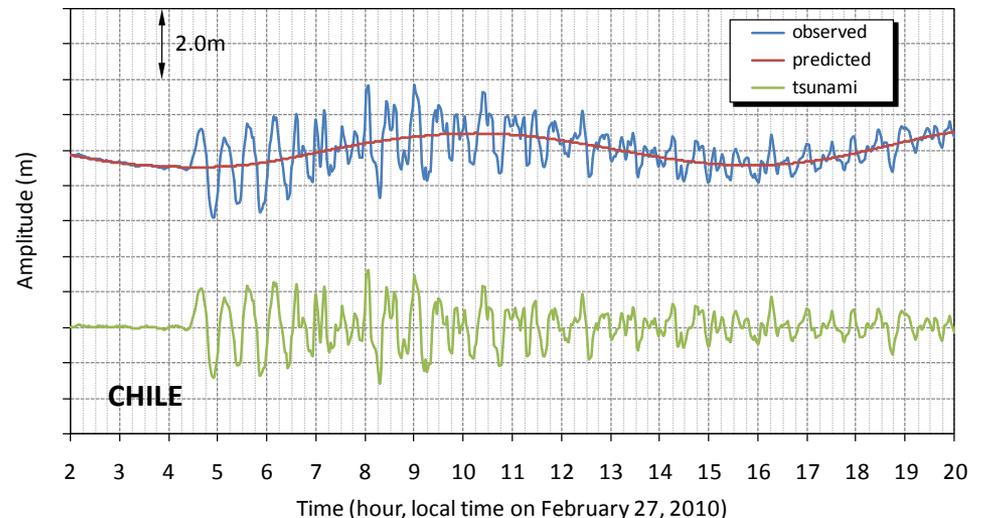
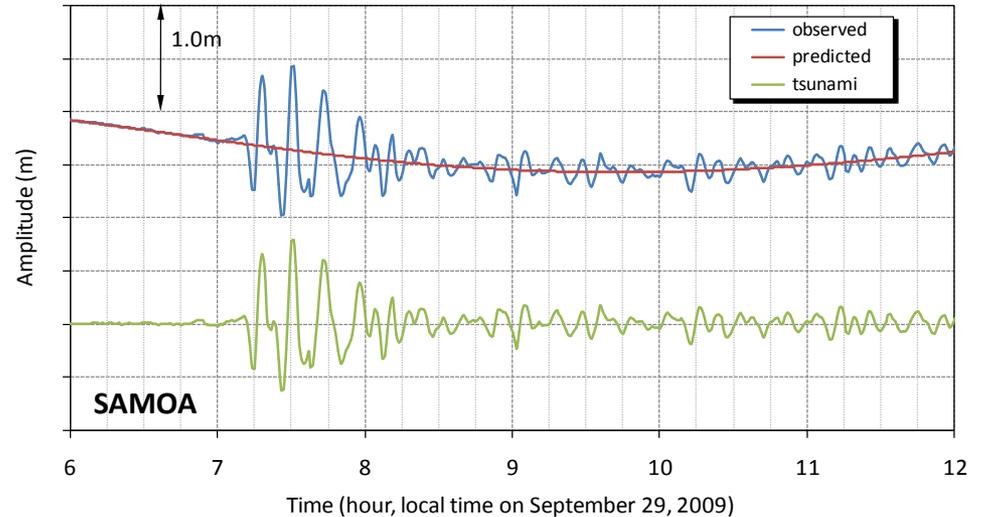


# 津波の数値シミュレーション

## 地形による津波の違い

- サモア諸島沿岸：島周囲で回折・反射した波が、約15分の間隔で襲来。大きな水位変動は1時間程度継続。
- チリ沿岸：大陸棚縁部と海岸線で反射を繰り返した波が長時間にわたって継続。波の襲来間隔は約30分。

地形の影響により同じ地震による津波でも特徴は大きく異なり、地域によってとるべき警戒体制は変わる



# おわりに

## 地域特性と津波災害

- 津波の挙動や被災形態は、地域の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の特性

物理的な条件	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 地理的条件(水深, 島, 河川, 水路, 砂丘, 海岸林, 湾形, サンゴ礁)</li><li>・ 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)</li><li>・ 想定される地震(規模, 波源からの距離, 地震発生サイクル)</li><li>・ 既存のハード対策(防波堤, 堤防, シェルター, 避難所)</li><li>・ 漂流物の有無(船, コンテナ, 樹木)</li></ul>
社会的な条件	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 過去の経験(被災経験の有無とその伝承)</li><li>・ 教育水準(一般的な教育水準, 防災に関する教育水準)</li><li>・ 警報システム(システムの有無, 発信内容)</li><li>・ 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)</li><li>・ 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)</li><li>・ 沿岸域での産業への依存度(漁業, 工場)</li><li>・ インフラの整備度合い</li></ul>
時間的な条件	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 時間帯(朝方, 昼間, 夜間)</li><li>・ 天候(雨, 雪)</li><li>・ 季節(春夏秋冬, 乾季雨季の存在)</li></ul>