

# ETAを用いた津波避難のリスク評価 - 閉上における復興計画案を事例として -

グループメンバー  
近藤 晴香 福田 匡史 平山 健斗  
アドバイザー教員  
村尾 修

1

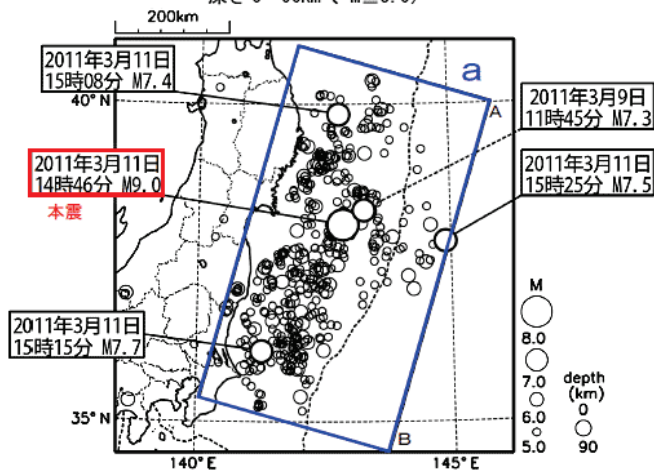
## 発表の流れ

- ▶ 研究背景
- ▶ 研究目的
- ▶ 先行研究
- ▶ イベントツリー作成手順
- ▶ 結果
- ▶ まとめ

2

# 研究の背景 ～2011年東日本大震災の概要～

震央分布図 (2011年3月9日～2011年4月7日06時、  
深さ0～90km、M≥5.0)



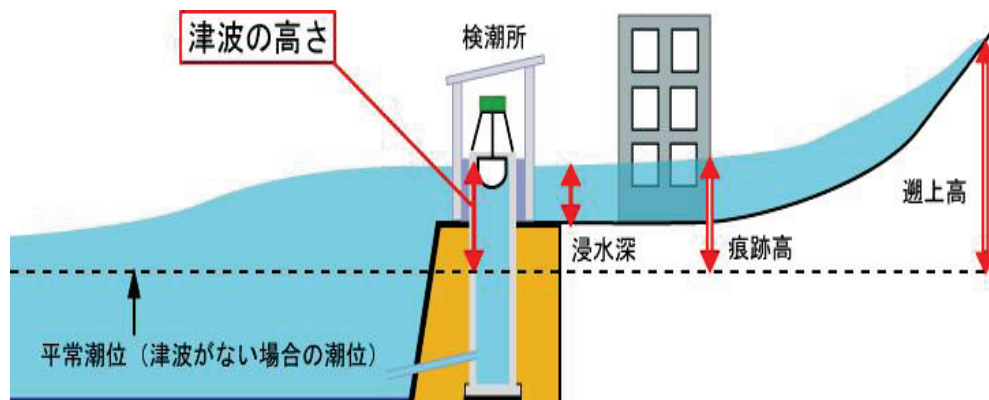
- ・ 発生日時 : 2011年3月11日14:46
- ・ 規模 : Mw 9.0
- ・ 波高 : 10m超
- ・ 遡上高 : 40.5m
- ・ 本震 : 三陸沖
- ・ 震源域 : 岩手県沖～茨城県沖  
長さ約400km以上  
幅約200km
- ・ 被災自治体数 : 21道県
- ・ 死者・行方不明者 : 1万9,846人
- ・ 重軽傷者 : 5,932人
- ・ 被災戸数 : 11万7,542棟(全壊)  
17万7,192棟(半壊)

(※9月26日現在)

出典 : 気象庁・地震調査研究本部「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の評価」  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr\\_sanriku-okis3/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr_sanriku-okis3/index.htm)

国土交通省「東日本大震災(第78報)」  
<http://www.mlit.go.jp/common/000139083.pdf>

# 研究の背景 ～津波に関して～



津波波高(m)	1	2	4	8	16	32
木造家屋	部分的破壊	全面破壊				
石造家屋	持ちこたえる			全面破壊		
鉄筋コンクリートビル	持ちこたえる					全面破壊
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林	被害軽微 津波軽減	漂流物阻止	部分的被害 漂流物阻止	全面的被害 無効果		

出典 : 気象庁ホームページ  
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

# 研究目的 ～ETAを用いた津波避難のリスク評価～

- ・日本観測史上最大のマグニチュード9.0を記録
- ・津波のリスクを評価する必要性



津波避難のリスクを定量的に評価することを目的とする

評価手法

## ①Event Tree Analysis(ETA)

## ②津波被害関数

-上記の被害評価手法を用いて、宮城県名取市閑上地区を対象とし、東日本大震災を条件とした場合の人的及び建物被害評価を行った

5

## 分析対象地

## ～宮城県名取市閑上地区～



### 閑上の地域特性

- 観光、交流場所が多数存在
  - ・ゆりあげ港朝市
  - ・ゆりあげビーチ
  - ・貞山運河
- 日本有数のアカガイの産地
- 仙台空港からの立地の良さ



名取市の中でも重要な地区

出典: Yahoo Japan

6

# 分析対象地

## ～宮城県名取市閑上地区～



名取市ホームページ  
<http://www.city.natori.miyagi.jp/>

### 名取市閑上地区被害状況

- ・震度：6強
- ・最大浸水深：8.5m
- ・死亡・行方不明者：590人
- ・建物被害数：1518棟

(※H23/9/26現在)



### 名取市震災復興計画

市街地を残す方針で再建！

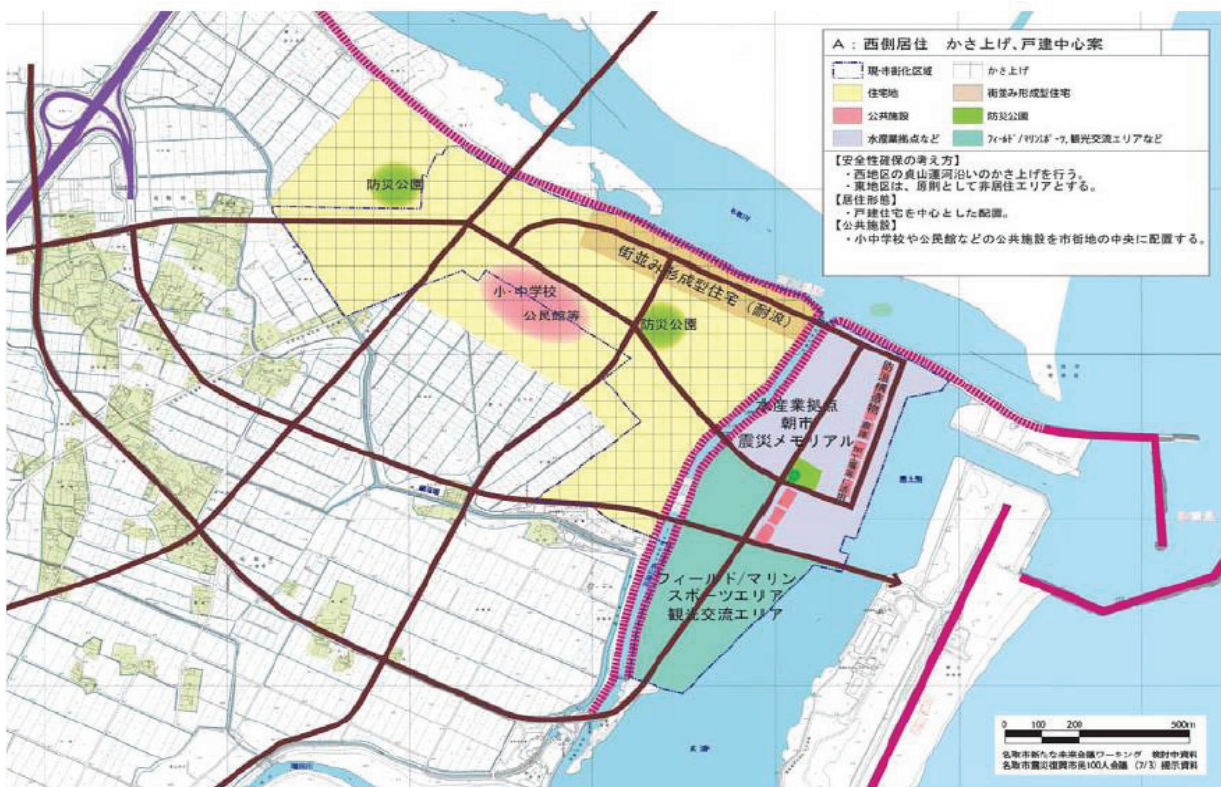
復興案  
A

復興案  
B

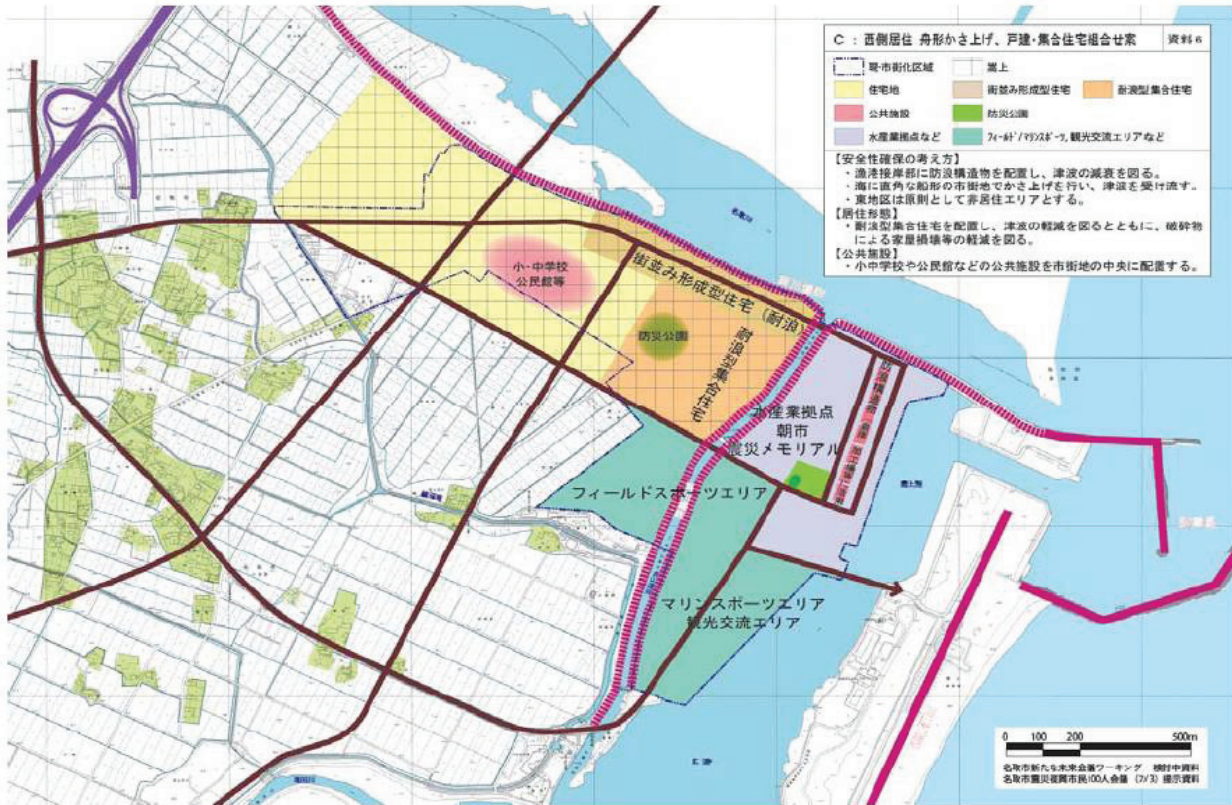
復興案  
C

7

### 復興案A(元の街の形を維持した復興案)



# 復興案C(波の遮蔽となる集合住宅を組み込んだ案)

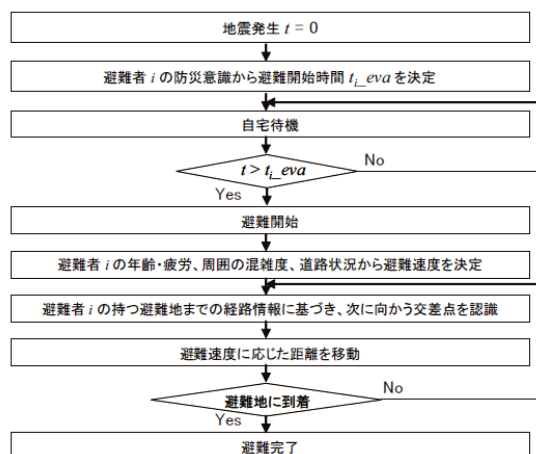


出典: 名取市新たな未来会議

## 先行研究

渡辺ら(2009)

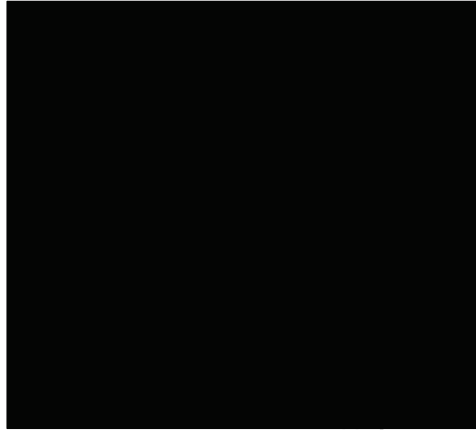
マルチエージェントシステムを用いた地震発生から避難完了までの津波避難シミュレーションモデルの開発を行った



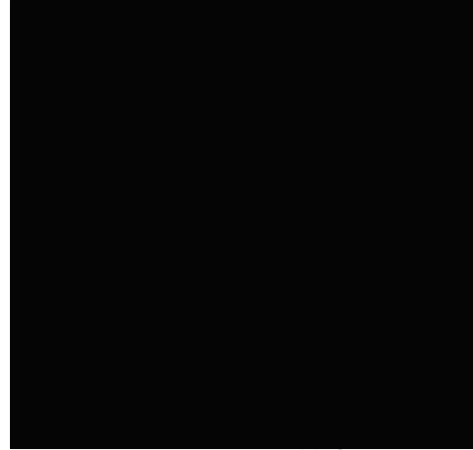
# 先行研究

越村ら(2009)

スマトラ沖地震のデータを用いて津波被害関数の概念とその構築手法を提案した



浸水深別建物被害関数

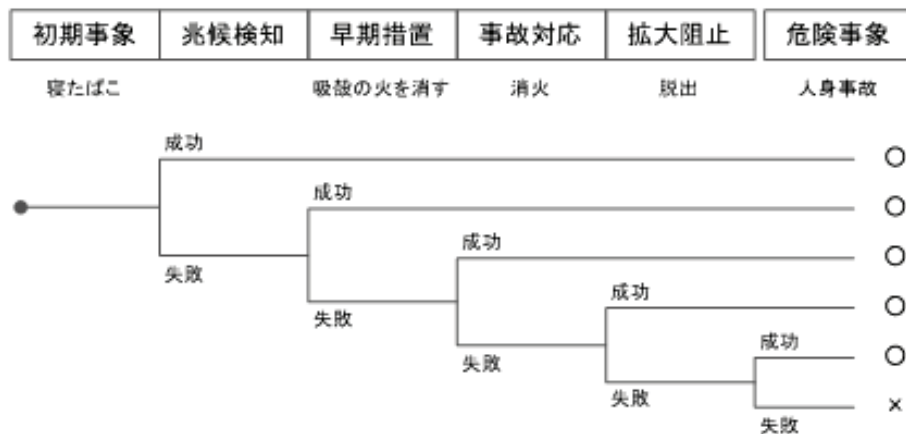


浸水深別人的被害関数

## ETA(イベントツリー解析)

安全性解析やリスクアセスメントで用いられる手法の1つ

ある故障や事故(原因)の発生を想定し、それに引き続いて起こる事象(対策など)の確率を考えることにより、結果(中間・最終事象)に至る過程とその発生確率を明らかにする



寝たばこによる火災発生モデル

出典: 情報マネジメント用語辞典

<http://www.atmarkit.co.jp/aig/04biz/eta.html>

# イベントツリー作成手順

1. 対象範囲の定義
2. 初期事象の定義(きっかけ)
3. 対応の定義1(防護機能)
4. 対応の定義2(避難開始、避難行動)
5. シナリオの定義(事故の進行)

13

## イベントツリー作成

### 1. 対象範囲の定義

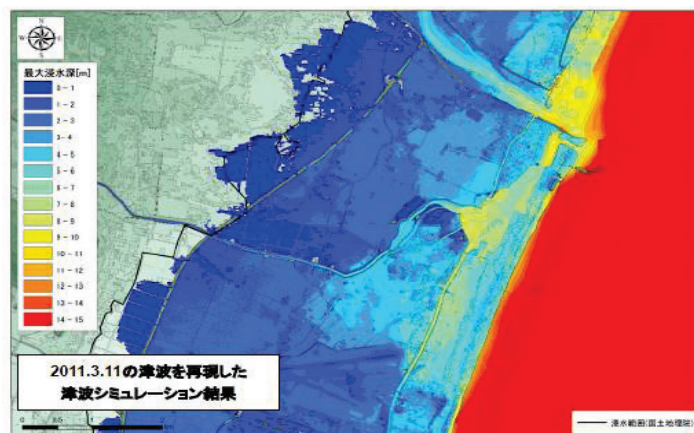
-分析を行う境界の設定

本  
報告

宮城県名取市閑上地区を対象と設定

#### 条件設定

- ・初期条件  
東日本大震災の条件
- ・浸水深設定  
シミュレーション値
- ・人口、建物の分布  
丁目内で均一に分布と仮定



2011.3.11の津波を再現したシミュレーション  
出典:名取市新たな未来会議

14

# イベントツリー作成

## 2. 初期事象の定義

-事故のきっかけとなる事象の設定

本  
報告

津波の発生を初期事象要素として設定

条件設定

要素の確率設定

実際、津波が来た



100%発生と設定

15

# イベントツリー作成

## 3. 対応の定義1（防護機能）

-初期事象の結果を和らげる（防止する）  
ために取られている対策の設定

本  
報告

距離、立地、防波堤、防潮堤、  
防潮林を防護機能要素として設定

条件設定

各要素の確率設定

実際、津波が防護機能を  
超えて被害をもたらした



各要素100%失敗と設定

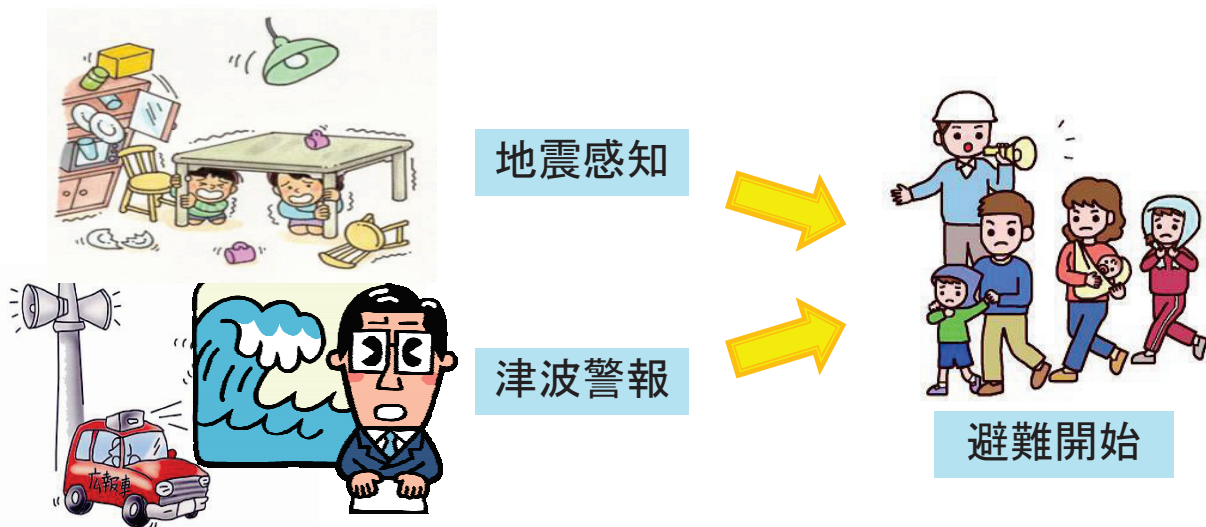
16



# イベントツリー作成

## 4. 対応の定義2（避難開始）

-初期事象や過程の事象に対して取る対応の設定



本  
報告

地震感知、地震後避難、警報発令時間、  
津波警報後避難を避難開始要素として設定

17

# イベントツリー作成

## 4. 対応の定義2（避難開始）

### 条件設定

#### □各要素の確率設定

##### ・地震感知

名取市で震度6強観測 ⇒ 100%感知成功と設定

##### ・避難割合

震度5の地震における仙台市若林区を対象とした  
先行研究のアンケート結果を値として設定

	地震発生後	警報発令後	避難しない
避難率	22.2%	50.6%	27.2%

##### ・警報発令時間

気象庁目標値より3分

18

# イベントツリー作成

## 4. 対応の定義2（避難行動）

－初期事象や過程の事象に対して取る対応の設定

- 津波避難は、津波が到達する前に浸水エリア外や高台等に逃げるのが基本策である。
- 浸水エリア外や高台等に避難が困難な地域では、避難ビルの指定等を行い、緊急的・一時的な避難場所を確保する。（濃いグレーの範囲は避難可能エリア）



20/50

19

# イベントツリー作成

## 4. 対応の定義2（避難行動）

本  
報告

避難先選択、浸水域外避難、  
緊急避難場所への避難、避難先安全性、  
流された場合の生存率を避難行動要素として設定

条件設定

□各要素の確率設定

・避難先選択

仙台市における先行研究アンケートより設定



浸水域外 73.4%、緊急避難先26.6%

20

## 条件設定

### □各要素の確率設定

#### ・避難成功の可否の判断

$$\text{(必要避難経路距離)} - \text{(避難速度)} \times \text{(避難可能時間)}$$

値が正の場合 : 避難失敗

値が負の場合 : 避難成功

避難速度 : 一律分速50m

避難者の可能移動距離

#### ・避難先安全性

米軍陸軍工兵隊人命損失予測モデルを使用

#### ・流された場合の生存率

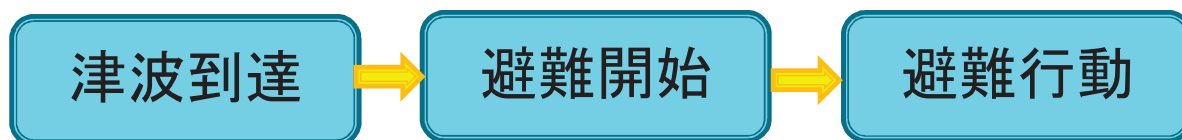
越村らの被害関数を使用

21

## イベントツリー作成

### 5. 事故のシナリオの定義

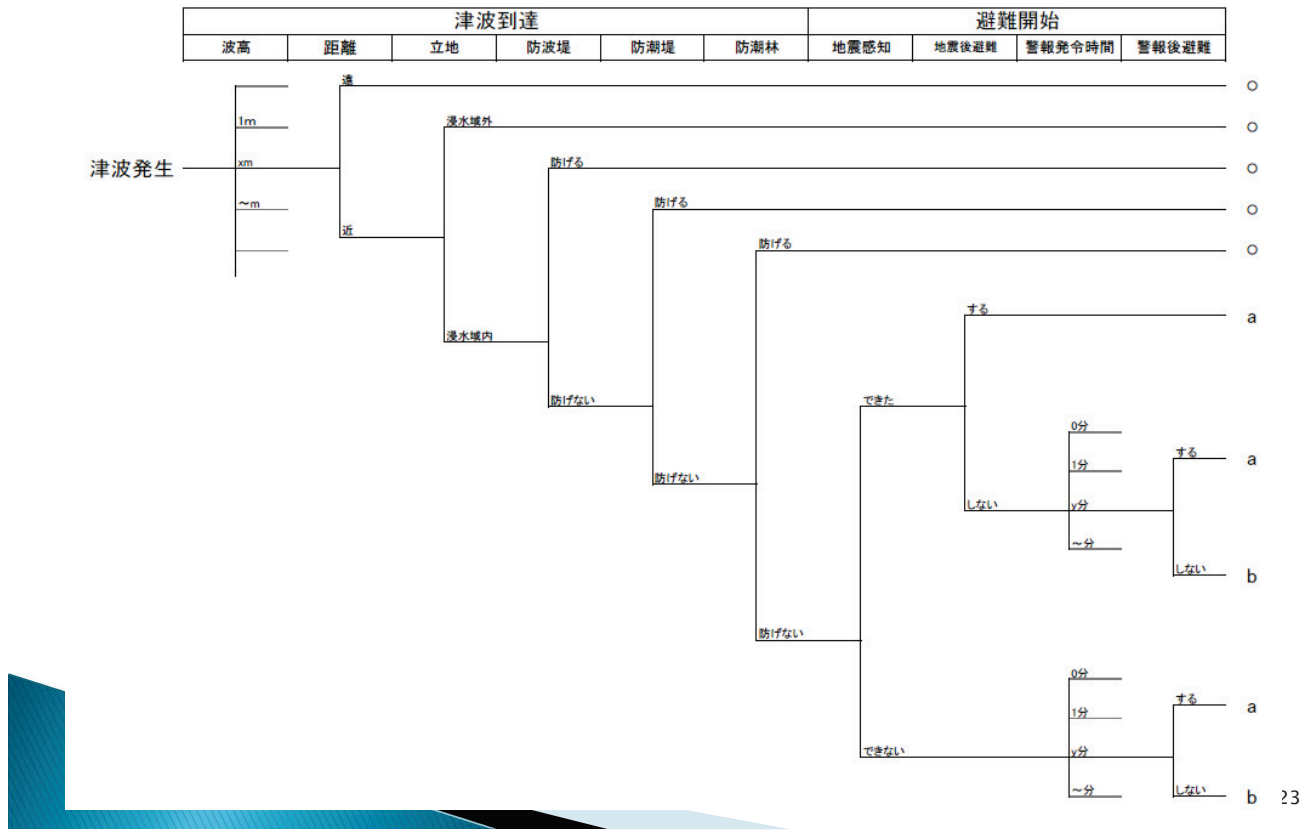
-初期事象から結果に至るまでの発生事象の明確化



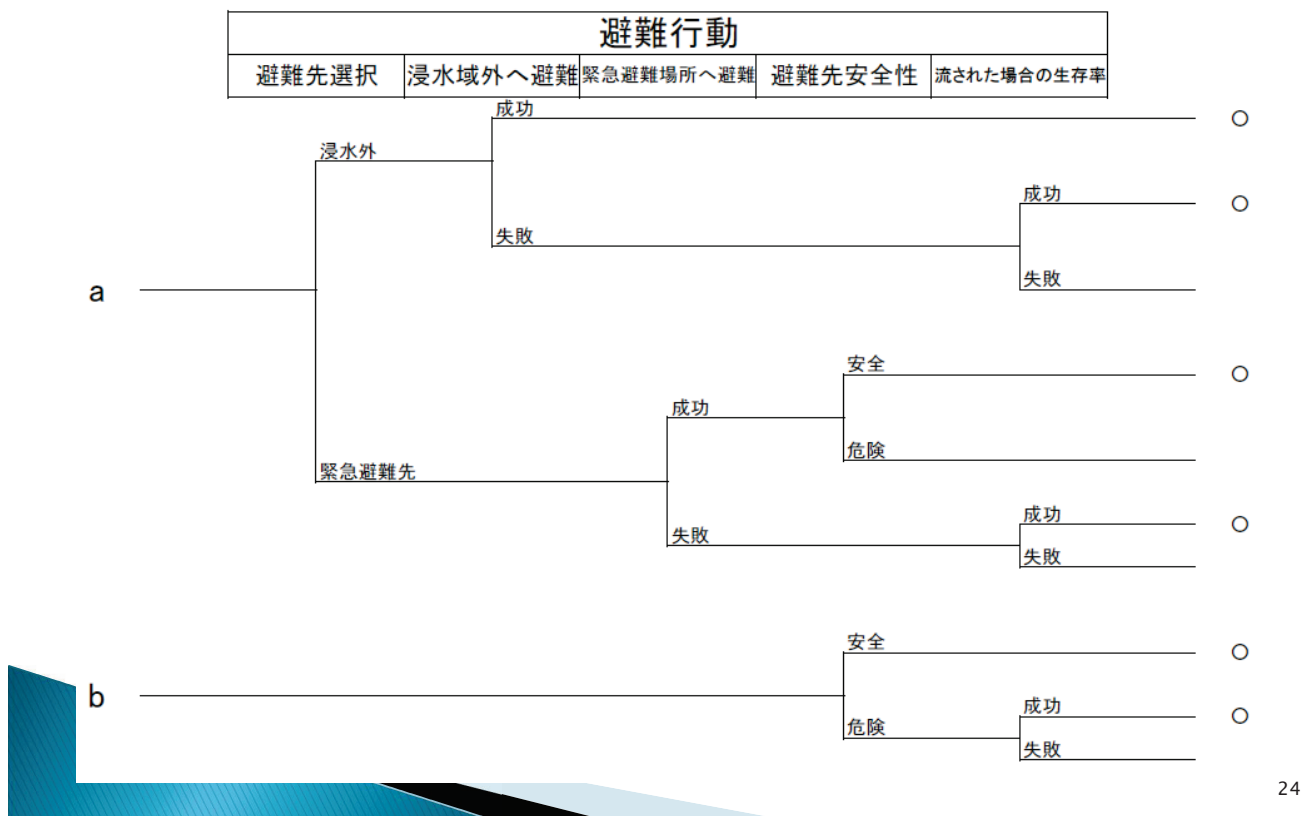
距離 立地 防波堤 防潮堤 防潮林	地震感知 地震後避難 警報発令時間 警報後避難	避難先選択 浸水域外避難 緊急避難場所へ避難 避難先安全性 流された場合の生存率
-------------------------------	----------------------------------	--

22

# 作成モデル



# 作成モデル(続き)



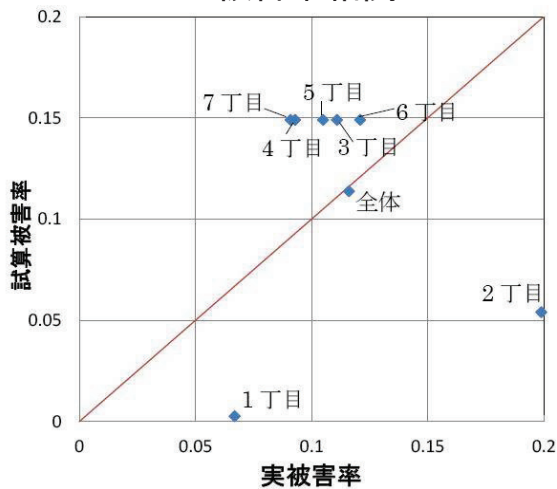
# 被害想定結果

閑上地区地図



出典: 国土電子ポータル

被害率相関

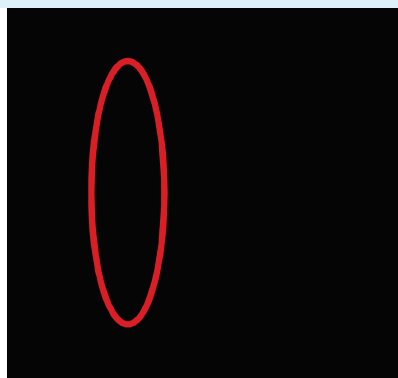


内陸部では実際より被害率が低く見積られる傾向  
 全体の被害率は実測11.6%、試算値11.4%

# 実被害と復興計画案の比較(人的)

復興計画案における被害率  

$$= \sum \{ (\text{浸水深別浸水面積}) \times (\text{人口密度}) \times (\text{ETAによる被害率}) \}$$



浸水深別人的被害関数

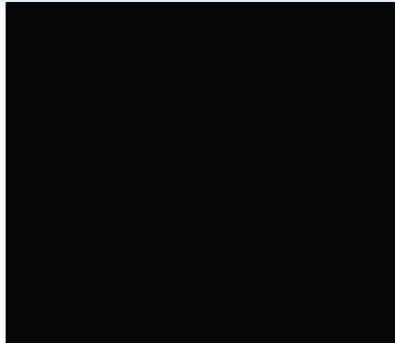
人的被害評価結果

	死者数(人)	被害率(%)
実被害	590	11.62
津波被害前	578	11.38
A案	2.66	0.053
C案	2.12	0.042

A案、C案ともに被害が500名以上減少  
 被害関数の低浸水深時のバラつきにより値は増加可能性

# 実被害と復興計画案の比較(建物)

復興計画案における被害率  
 $= \Sigma \{ (\text{浸水深別浸水面積}) \times (\text{建物密度}) \times (\text{建物被害関数による被害率}) \}$



浸水深別建物被害関数

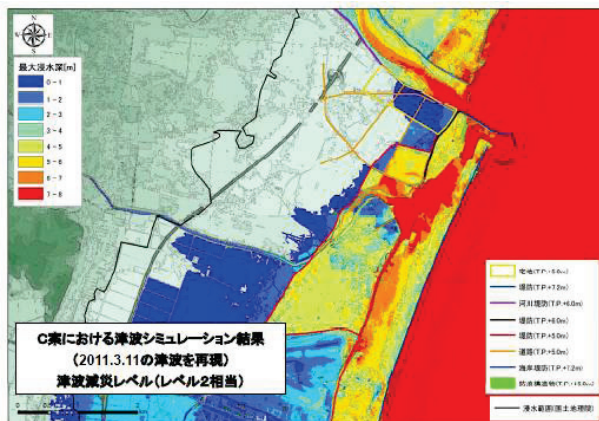
## 建物被害評価結果

	建物被害数(戸)	被害率(%)
実被害	1518	83.13
津波被害前	1258	68.89
A案	93	5.09
C案	19	1.04

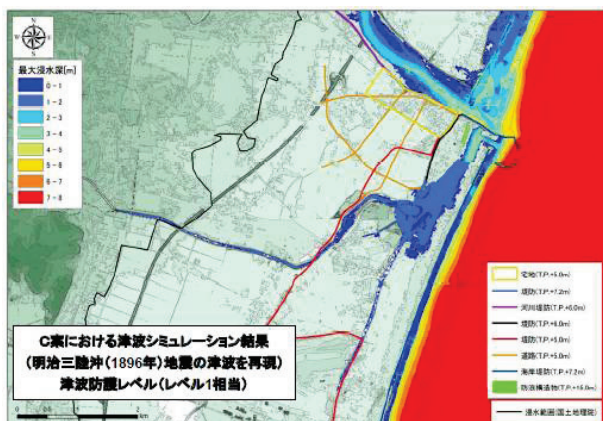
A案、C案ともに被害が9割以上減少  
 C案は耐浪型集合住宅によりさらに被害減

# 津波規模別比較

津波減災レベルの津波シミュレーション:C案



津波防護レベルの津波シミュレーション:C案



出典: 名取市新たな未来会議

津波防護レベル(明治三陸沖地震津波程度)においては  
 居住区域に浸水せず被害は0となった

# 既存手法との比較

## 中央防災会議による手法

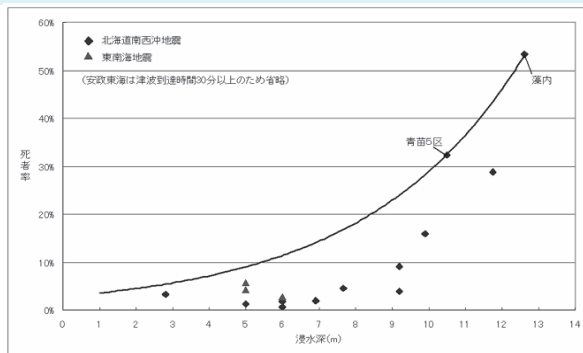
### 死者の概算式

<避難しない人>

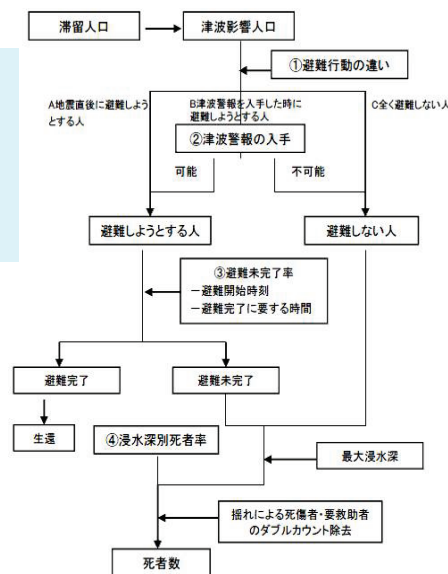
死者数 = 津波影響人口 × 浸水深別死者率

<避難しようとする人>

死者数 = 津波影響人口 × 避難未完了率 × 浸水深別死者率



浸水深別死者率



死者算出までの流れ

出典：中央防災会議

被害最大となる避難者なしの場合でも被害率6.6%  
浸水深別死者率の設定値が低い可能性

29

## まとめ

- ・ETA の手法を用いて津波避難のイベントツリーを作成
- ・ETAと津波被害関数による東日本大震災の人的被害評価を行い、実被害率11.6%、試算被害率11.4%となった
- ・復興計画における都市設計別の人的・建物被害評価を行い、復興計画A案、C案ともに人的被害は500名以上、建物被害は90%以上削減可能であることを示した

## 課題

- ・津波到達まで、および浸水深の想定手法の検討
- ・人口分布や個人属性、道路状況等の考慮
- ・他地域における評価、検討

30