

# 防災まちづくり計画策定に係る津波避難シミュレーション

エンジニアリング本部 都市・地域計画部

保刈 和也

新海 仁

## 1. はじめに

日本は世界有数の地震大国である。記憶に新しい2011年の東日本大震災では、死者15,883名、行方不明者2,656名にのぼり<sup>1)</sup>、戦後最悪の自然災害となった。この震災の犠牲者のうち約9割以上の死因は溺死であり、犠牲者のほとんどは津波によって命を落としたとされている<sup>2)</sup>。

津波は地震が発生してから襲来するものであり、地震後に適切な避難を行うことができれば人的被害は最小限に止めることができる。従って、地震による津波からの避難計画の検討やその普及啓発及び施設整備は、今後の地震防災・減災を考えるうえで非常に重要な課題といえる。

特に、切迫性が高いとされている南海トラフ巨大地震では11の都県が10m以上の津波に襲われるとされ<sup>3)</sup>、それを受けて多くの自治体で津波避難計画の見直しが進められている。

津波に強いまちづくりのためには、まずは人命を守ることが最優先の課題であり、地震発生から津波到達の間に浸水エリア外への避難が可能かどうかの予測が必要となる。それには、避難経路・避難場所・人々の移動速度・避難時の行動特性・津波の浸水深などを整理・検討し、住民の避難状況を予測するツールがあれば有効である。

本稿では、その有効なツールとして、津波発生時の避難状況を視覚的にわかりやすく表現し、実効性のある避難計画策定の支援を目的とした津波避難シミュレーションの紹介を行う。

## 2. 津波避難シミュレーションの概要

本稿で紹介する津波避難シミュレーションは、表1で示すような入力条件の情報をもとに個別の避難者の時系列上での避難行動を計算することで、避難所要時間の地域分布や避難所の過不足、避難経路上での混雑や障害による避難遅れ等の様々な課題をシミュレーションすることが出来るものである。このシミュレーションの流れを図1に示す。

表1 モデルへの入力条件

|           |   |
|-----------|---|
| 避難者初期位置状況 | 時間帯ごとの人口分布・大規模施設や観光客、学校や福祉施設など  |
| 道路状況      | 道路ネットワーク・道路幅(歩行者通行幅)・傾斜・階段有無など  |
| 津波データ     | 浸水深・場所ごとの津波到達時間など   |
| 避難者行動原理   | 移動速度(歩行者密度による混雑考慮)・避難開始時間・経路選択方法(最短距離、ポテンシャル考慮、看板による方向指示など)、通行不能時の経路再設定、分岐点での経路選択精度など(避難者属性に応じた値) |
| 避難所状況     | 位置・対象エリア・収容人数・収容速度など  |

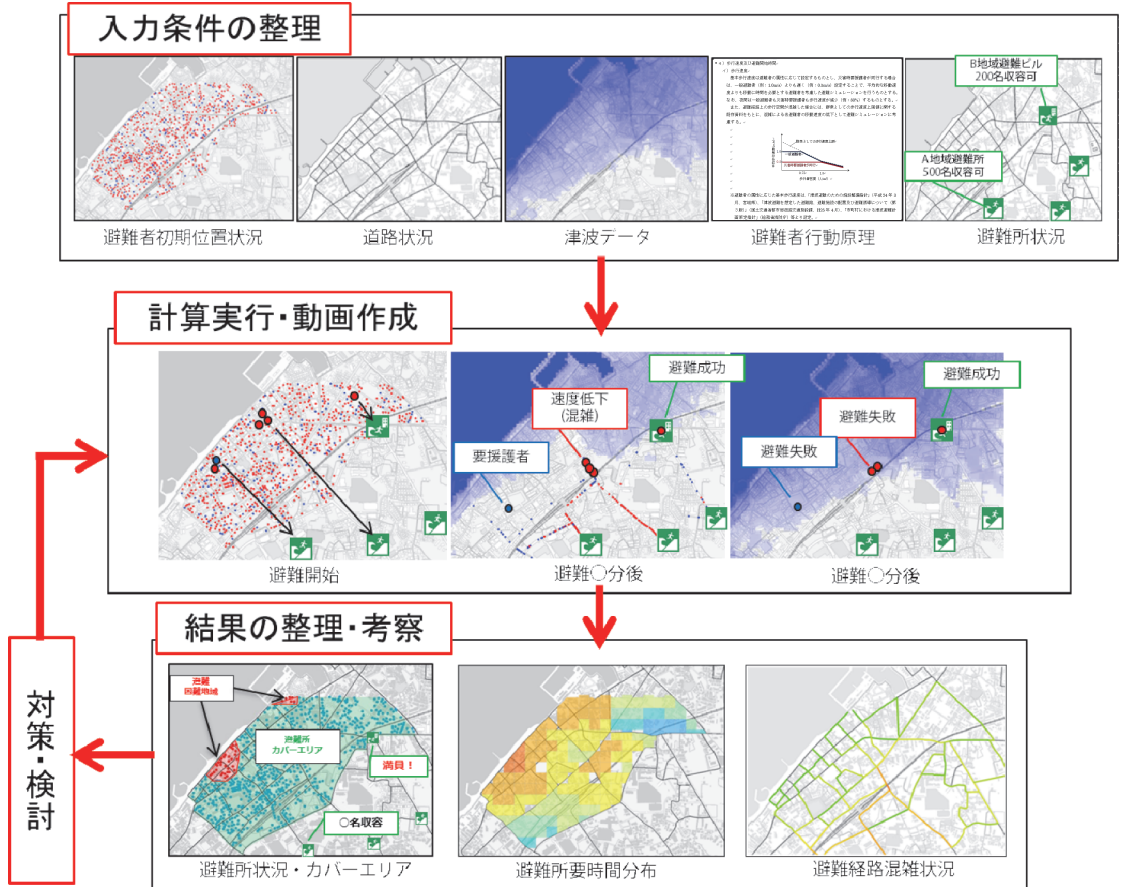


図1 シミュレーションの全体の流れ

### 3. シミュレーションと対策検討の事例

地震発生後に沿岸部の住民等が避難する様子をシミュレーションで再現し、避難計画の課題及びその対策を検討した。

避難シミュレーション及び対策検討の事例を以下に紹介する。

#### 3.1 シミュレーション条件設定

##### (1) 避難者初期位置

避難者の初期位置は、夜間の時間帯を想定し、住居内に避難者グループが存在するとして住居系建物の位置とした。ここで、移動速度の遅い災害時要援護者を含むグループは、全避難者の 1/5 存在するとした。図 2 に避難者の初期分布を示す。

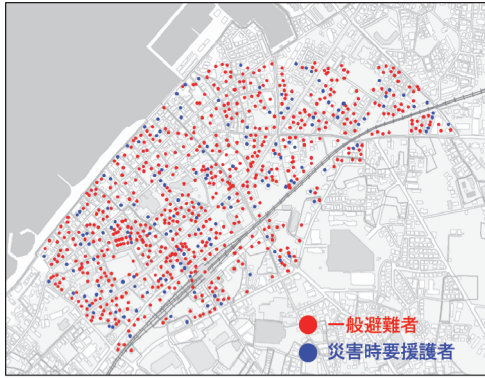


図2 避難者の初期分布

## (2) 道路状況と避難所状況

道路ネットワーク図は、市販の道路ネットワークデータを使用し、傾斜は5mメッシュ標高データから設定した。また、津波避難所は各地域別に設定した。図3に本稿における道路網図と標高データ及び津波避難所の位置を示す。

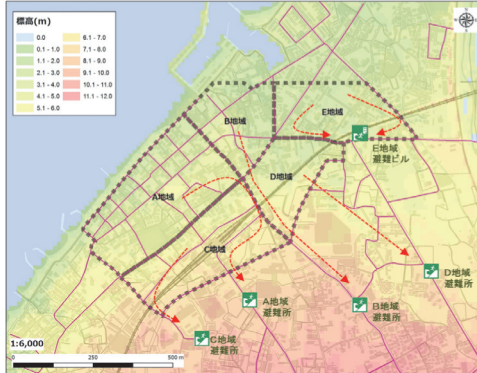


図3 道路網図(ピンク)と避難所位置

## (3) 津波データ

津波のデータは、その浸水深と到達時間をモデルに入力した。想定した津波は、地震後15分で沿岸部に到達して標高5mまでの領域が浸水すると仮定した。

## (4) 避難者行動原理

避難者グループは、各グループ(図2の丸印)ごとに避難開始時間になると最短経路で避難所へ向かうものとした。ここで、歩行速度は、1.0m/sを基本として災害時要援護者を含むグループは0.5m/sに設定した。避難開始時間は避難者グループ毎に差が出るように一定時間内で幅を持って設定することとし、早期避難が啓発されているかないかで2パターン設定した。

## (5) 計算のケース設定

シミュレーションは3ケース行った。表2にシミュレーションの条件設定を示す。

ケース1は現況の条件で対策等を行わない場合、ケース2では、ケース1で起きた問題点や被害状況を踏まえた対策を取った場合、ケース3は、住民への啓発用としてケース2から避難開始が遅れた場合として、それぞれシミュレーションを行った。

表2 計算ケース

| ケース名                 | 条件設定                   |
|----------------------|------------------------|
| ケース1<br>(現況ケース)      | 避難開始: 地震後5分以内(早期避難)    |
|                      | 道路: 拡張なし<br>避難ビル: 増設なし |
| ケース2<br>(対策ケース)      | 避難開始: 地震後5分以内(早期避難)    |
|                      | 道路: 拡張あり<br>避難ビル: 増設あり |
| ケース3<br>(対策+避難遅れケース) | 避難開始: 地震後20分以内(避難遅れ)   |
|                      | 道路: 拡張あり<br>避難ビル: 増設あり |

## 3. 2 シミュレーション結果と対策検討

図4に、3ケースにおけるシミュレーション結果を示す。

現況ケース1では、道路混雑や要援護者の存在によって移動速度が低下し、被害が発生して

いる。現況ケース1における避難所のカバー状況と地域別避難所要時間及び避難経路混雑状況を図5, 6, 7に示す。図5には一定の避難時間内に津波からの避難が間に合わない避難者がいる地域(避難困難地域)を示している。図6には各避難者の避難開始位置ごとの避難所要時間を地域別に集計した分布図を示しており、図5で示した避難困難地域では避難所まで最大15分程度が必要となっている。また、図7には、避難経路区画ごとの混雑状況(最大歩行密度)を示すが、経路の一部区間において混雑渋滞が発生し、歩行速度が低下する問題が起きていることがわかる。

これら課題に対して、津波避難対策を行った

場合の効果を検証するためのシミュレーションを実施した。図4のケース2では、混雑が予想された一部区間の道路の拡張と、避難困難となった地域に避難ビルを新設した場合のシミュレーションを行った。その結果、課題が解消され全員の避難が成功することが確認された。

また、ケース3では、ケース2と同様の条件で避難開始が遅れた場合を想定してシミュレーションを行った。これは住民の意識啓発を目的に行ったものでハード対策が十分でも避難開始が遅れた場合には、犠牲者が発生する様子を示し、地震発生時の早期避難を意識づけるために行ったシミュレーションである。

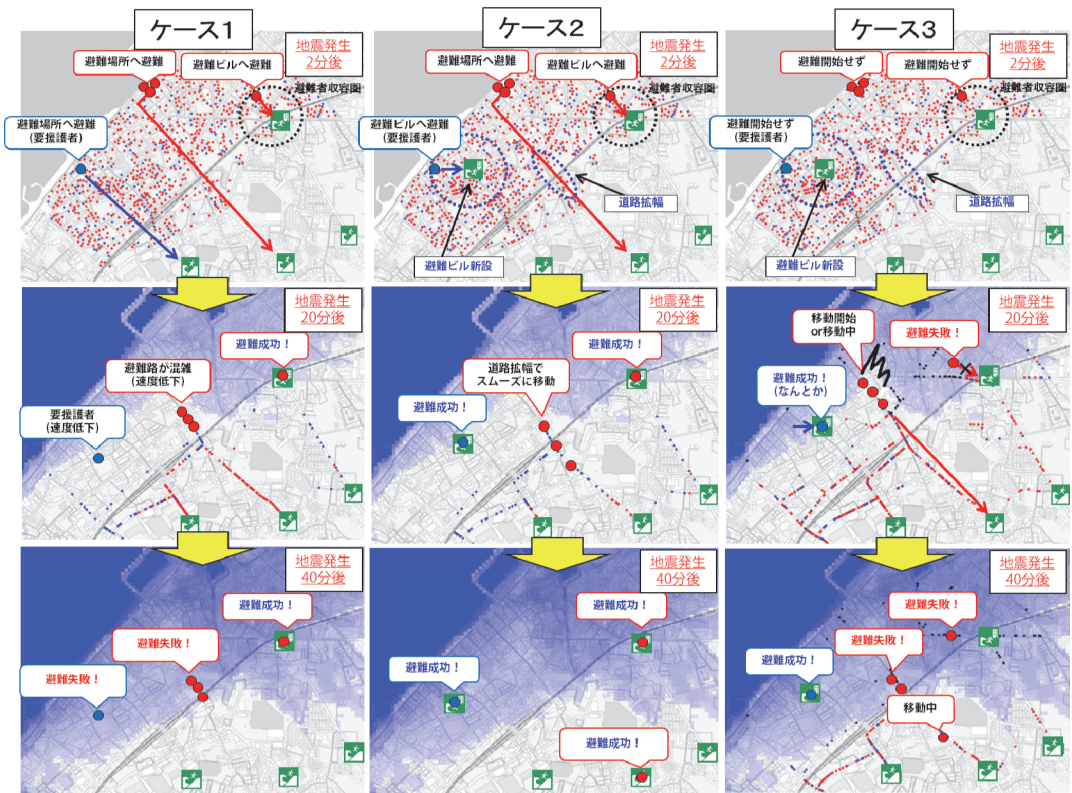


図4 各ケースにおける避難状況



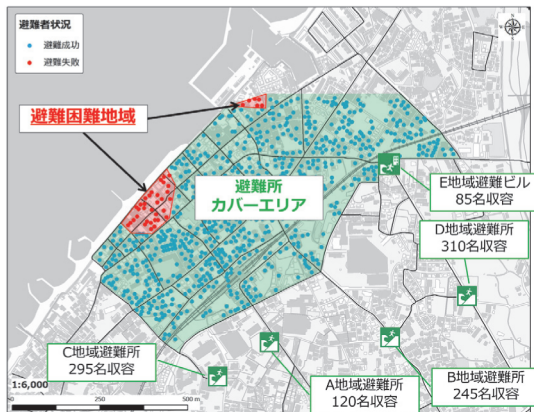


図5 避難所状況・カバーエリア

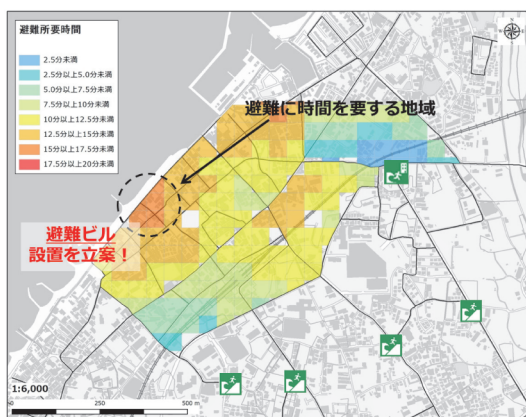


図6 避難所要時間分布図



図7 避難経路混雑状況図

さらに、図 5,6,7 のようにシミュレーション結果を地図上に分かりやすく示すことによって、津波避難時における様々な問題点を把握し、その問題に対し避難ビル新設や道路拡幅及び早期避難の啓発などの避難に有効な対策を検討し、津波防災に強いまちづくりへの支援へつなげることができる。

## 4. 今後の課題

### 4.1 避難路の安全性

避難路は、地震による建物倒壊や道路の液状化により通行不能(閉塞)となる場合がある。特に液状化危険度の高い地区や、道路幅が狭く、かつ木造住宅等が密集した地区は、閉塞状態になる危険性が高く、避難路の安全性は、避難計画の検討において重要な要因となる。

本稿のシミュレーションでは、避難路の閉塞を考慮していないが、閉塞可能性が高い避難路を特定できる場合は、予め避難経路から除外することも可能である。また、閉塞可能性の高いエリアのみが既知で避難路の特定が難しい場合は、迂回・逃げまどいを考慮した平均避難速度低下等の設定を行うことで、避難路の安全性を考慮したシミュレーションを行うことを検討している。

### 4.2 車両による避難

避難は基本的に徒歩で行われることを想定するが、身体的な理由や地理的な理由で徒歩での避難がどうしても困難な避難者や地域もあり、自動車による避難や送迎についても計画において検討する必要がある。

本稿のシミュレーションモデルは、徒歩による避難を前提としたものであるが、車両による避難につ

いても自動車の移動速度や車道上の混雑率と移動速度低下の関係式を徒歩避難者とは別途設定することで、シミュレーションすることは可能である。ただし、震災時に発生すると思われるさまざまな交通障害(徒歩避難者との錯綜、信号機停止、交通事故、放棄車両の発生等)についての検討が別途必要となる。

このうち、徒歩避難者との錯綜、信号機停止については別途に交通流のマイクロシミュレーションを行い、車両が避難経路を走行する際の道路混雑状況や徒歩避難者との錯綜を考慮した所要時間について把握し、車両による避難計画を検討することが可能である。また、交通事故、放棄車両の発生等については発生確率・道路幅を考慮した速度低下の設定を検討している。

## 5. まとめ

### 5.1 津波避難シミュレーション

避難路としての道路ネットワーク及びその高低差や混雑状況、地域内の避難者分布、避難者毎の移動特性や行動原理等を考慮して、対象地域内の各避難者の時々刻々の移動状況、避難所要時間分布及び避難路の混雑状況等を推計することのできる津波避難シミュレーションを構築した。その結果を地図上に視覚的に表現することにより、避難路整備や避難施設配置における課題やその対策検討、住民等への啓発等を行うための基礎資料として役立てることができる。

### 5.2 津波防災まちづくり計画への活用

平成23年12月に災害対策基本法に基づく防災基本計画法が修正されて新たに津波に強いま

ちづくりの項目が設けられ、津波からの迅速かつ確実な避難を可能にするためのまちづくりを目指すことが位置付けられた<sup>4)</sup>。本稿で紹介する避難シミュレーションは、既存の道路ネットワークデータや標高データ、昼夜間人口に関する既存統計情報、震災被害想定結果等をそのまま活用して比較的容易にデータ構築ができるようなモデルとして設計している。この避難シミュレーションモデルを用いることで、「津波防災まちづくりの計画策定に係る指針」に沿った各避難施設のカバーエリア、避難困難地域や特定避難困難地域の抽出等を行うことができる。そのうえで、避難者誘導方法や混雑状況等の詳細な課題検討及び視覚的にわかりやすい動画作成もあわせて行うことで、防災まちづくり計画策定に貢献していきたい。

## <参考文献>

- 1) 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置」(警視庁,2013年9月10日)
- 2) 「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について(資料1-2)」(内閣府中央防災会議,2012年8月29日)
- 3) 「津波防災まちづくりの計画策定に係る指針」(国土交通省,2013年6月)