

直感的な避難開始に基づく 津波避難シミュレータの開発

国立研究開発法人 防災科学技術研究所
社会防災システム研究部門

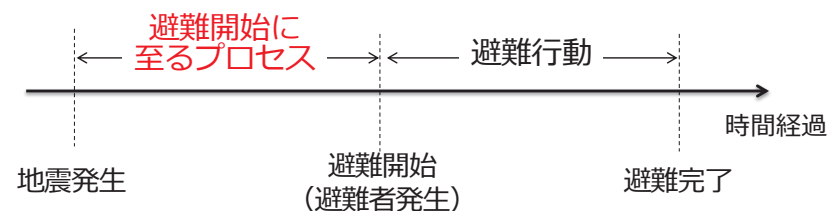
どひ
土肥 裕史

1

はじめに

キーワード

- ◇ 避難開始に至るプロセス
- ◇ 「逃げなければ」というリアリティ
(多くの人が抱いている現実味)



図：津波災害時における避難の手順

2

目次

1. 研究背景, 目的
2. 津波避難シミュレータの開発
3. 実地域への適用と分析
4. まとめ, 今後の課題・展望

4

1. 研究背景, 目的

研究背景

- ◇ 東日本大震災では、十分な避難行動をとることなく犠牲になった人びとが数多く報告されている。
- ◇ 三上 (2014)* が宮城県石巻市を対象にして実施した調査によると、犠牲者の半数以上が避難をせずに自宅にいた。
- ◇ 今後、津波による人的被害を大幅に軽減するためには、避難開始に関する課題の解決が極めて重要であるといえる。



図：津波災害時における避難の手順

* (参考) 三上卓：東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp.908-915, 2014.

5

1. 研究背景, 目的

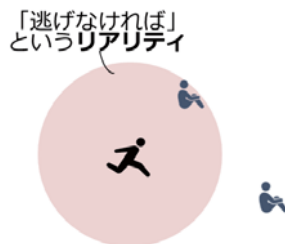


- ◇ これまで避難開始について、津波警報や避難勧告を受け取った住民が、自身の津波避難に関する知識や経験に基づき、避難するか**論理的に判断**するという枠組みで多く議論されてきた。



(東日本大震災では、公的機関からの情報によって多くの住民が早期避難を促された)

- ◇ 一方で、**様々な人々や自然現象によって醸成される「逃げなければ」というリアリティ**を感じ取り、避難するか**直観的に判断**したと推察される事例も数多く報告されており、避難開始の課題解決において重要な視点であるといえる。



1. 研究背景, 目的



研究目的

- ◇ こうした捉え方は、社会心理学の分野* (矢守, 2009) で提唱され、災害報道**など (例えば近藤, 2013) に活用されている。
- ◇ しかし、本概念に基づき、**避難開始に至るプロセス**を定量的に分析するツールの提案、評価はなされていない。

目的

- ◇ 地域で醸成される「逃げなければ」というリアリティを感じ、**直観的に避難を開始する住民がいるという観点から、避難開始を定量的に分析できるツールを開発**する。
- ◇ **津波災害時における人間行動を整理・分類し、避難開始との関係性を分析**する。

* (参考) 矢守克也: 防災人間科学, 東京大学出版会, 2009.

** (参考) 近藤誠司: 災害報道をめぐるリアリティの共同構築, 京都大学博士論文, 2013.

1. 研究背景, 目的



これまでの研究内容

	ツールの開発および避難開始の分析	地震・津波災害時の人間行動の整理・分類
屋内施設	<input type="checkbox"/> 高齢者施設を対象 	<input type="checkbox"/> 商業施設を対象
地域コミュニティ	<input type="checkbox"/> 石巻市門脇, 南浜地区を対象 <input type="checkbox"/> 南三陸町志津川地区を対象 	<input type="checkbox"/> 南三陸町志津川地区を対象

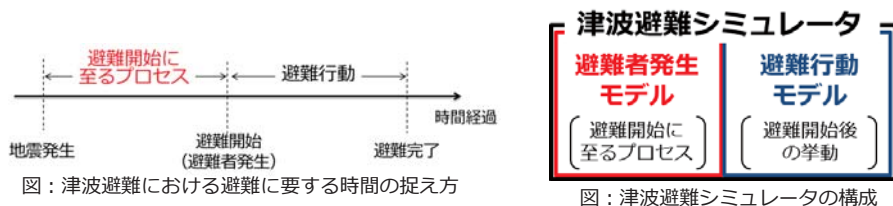
目次



1. 研究背景, 目的
2. 津波避難シミュレータの開発
3. 実地域への適用と分析
4. まとめ, 今後の課題・展望

津波避難シミュレータの構成

- ◇ 本シミュレータは、避難開始に至るプロセスを表現する **避難者発生モデル**と、避難開始後の挙動を表現する **避難行動モデル**の2つに大別できる。
- ◇ 本研究では、**避難者発生モデルを開発し**、清野ら(1994)*が開発した個別要素法(DEM)を用いた**群衆行動計算手法と統合した**、津波避難シミュレータを開発する。



* (参考) 清野隆史, 三浦隆記, 瀧本浩一, 中島庸一: 個別要素法を用いた群衆行動シミュレーション, 地域安全学会論文報告集, Vol4, pp.323-327, 1994.

避難者発生モデル

1. 人々の行動や自然現象により、「逃げなければ」というリアリティ (**避難開始リアリティ**, Reality of Evacuation Start) RES が醸成される。

$$RES_{(x,y,t)} = F_{con}(n_{(x,y,t)}) \sum_{i_s=1}^{n_s} (R_{i_s}(x,y,t) X_{i_s}(t) W_{i_s}(x,y,t))$$

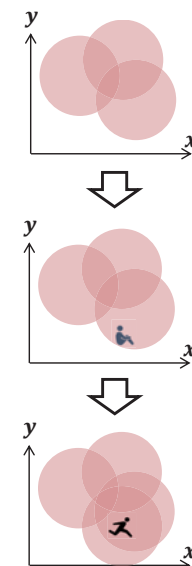
2. 人々は避難開始リアリティ RES を感じ、**危機感 ALD を高める**。

$$ALD_{i_p(t)} = \min\{\theta_{i_p}, \int_{c_{i_p}} RES_{(x,y,t)} ds\}$$

3. 危機感 ALD が上限 (閾値) θ を超えると**避難を開始し**、避難開始リアリティ RES を醸成する一因 (ソース)となる。

$$X_{i_p(t)} = \begin{cases} 0, & ALD_{i_p(t)} < \theta_{i_p} \\ 1, & ALD_{i_p(t)} \geq \theta_{i_p} \end{cases}$$

弱  強
避難開始リアリティ RES

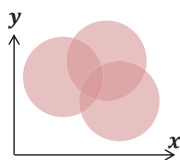


避難者発生モデル

弱  強
避難開始リアリティ RES

1. 人々の行動や自然現象により、**避難開始リアリティ (Reality of Evacuation Start) RES が醸成される**。

$$RES_{(x,y,t)} = F_{con}(n_{(x,y,t)}) \sum_{i_s=1}^{n_s} (R_{i_s}(x,y,t) X_{i_s}(t) W_{i_s}(x,y,t))$$



集団同調性バイアス (Milgram et al. (1969)*を参考に設定) : $F_{con}(n_{(x,y,t)}) = 1 + \frac{45.09}{45.68} \ln(n_{(x,y,t)})$

避難開始リアリティとソースの位置関係 : $R_{i_s}(x,y,t) = \begin{cases} 0, & i_s(x,y,t) \text{ の影響範囲外} \\ 1, & i_s(x,y,t) \text{ の影響範囲内} \end{cases}$

ソースのオン・オフ : $X_{i_s}(t) = \begin{cases} 0, & i_s(t) \text{ がソースとして機能していない(オフ)} \\ 1, & i_s(t) \text{ がソースとして機能している(オン)} \end{cases}$

$n_{(x,y,t)}$: 避難開始リアリティ $RES_{(x,y,t)}$ を醸成するソースの数
 n_s : ソースとしてのポテンシャルを持つ因子の総数
 $W_{i_s}(x,y,t)$: 時刻 t において座標 (x,y) に存在するソースの影響度 (重み)

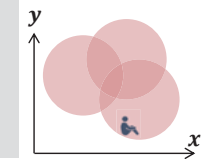
* (参考) Milgram, S., Bickman, L. and Berkowitz, L.: Note on the Drawing Power of Crowds of Different Size, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.13, pp.79-82, 1969.

避難者発生モデル

弱  強
避難開始リアリティ RES

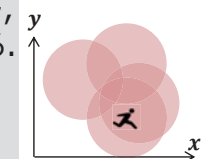
2. 人々は周囲の避難開始リアリティ RES を感じ、**危機感 (Awareness Level of Danger) ALD を高める**。

$$ALD_{i_p(t)} = \min\{\theta_{i_p}, \int_{c_{i_p}} RES_{(x,y,t)} ds\}$$



3. 危機感 ALD が上限 (閾値) θ を超えると**避難を開始し**、避難開始リアリティを醸成する一因 (ソース)となる。

$$X_{i_p(t)} = \begin{cases} 0, & ALD_{i_p(t)} < \theta_{i_p} \\ 1, & ALD_{i_p(t)} \geq \theta_{i_p} \end{cases}$$




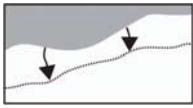
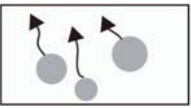
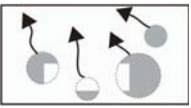
人間 i_p の閾値 : $\theta_{i_p} = C/r_{i_p}$

c_{i_p} : 人間 i_p が避難を開始するまでに通過する経路
 r_{i_p} : 一樣乱数 ($0 < r_i \leq 1$)
 C : 地域定数 (地域ごとの人々の危機感の高まりやすさを相対的に表現する)

避難者発生モデル

- ◇ ソースの影響範囲をモデル化するにあたり、影響パターンに応じて4種類に分類した。

表：影響パターンに応じたソースの分類

	全領域型	非影響範囲を含む全領域型	円形型	非影響範囲を含む円形型
模式図				
説明	対象領域全体に影響を与える。	影響範囲の大きさ、位置が変化する。	情報発信源を中心とした同心円内の住民に影響を与える。	遮蔽物により、円形型の影響範囲の一部に影響が及ばない。
ソースの例	地震の揺れ	遡上する津波	呼びかけ(避難行動者の声)	避難行動の目撃(避難行動者)

■ 影響範囲 □ 解析領域 ※解析時間内で時間変化させなければ静的に取り扱える

15

避難者発生モデル

- ◇ ソースの影響度(重み)を、避難のきっかけに関する社会調査の結果を用いて設定する。

重みの設定手順

1. ソース i_s の情報を取得した人びとの割合 m_s とその情報を避難のきっかけとした人びとの割合 p_s の両項目がある社会調査を選定
2. ソース i_s の影響力の大きさ p_s/m_s を算定
3. p_s/m_s を地震の揺れの値との比で整理
4. 地震による揺れの直後に避難した人びとの割合の実績値と一致するよう揺れの重み W_{i_s} を試行錯誤的にシミュレーションを行い決定
5. 3を用いて、その他のソースの重みを算定

表：ソースごとの重みの算定の例 (中央防災会議が実施した社会調査²⁰)を使用)

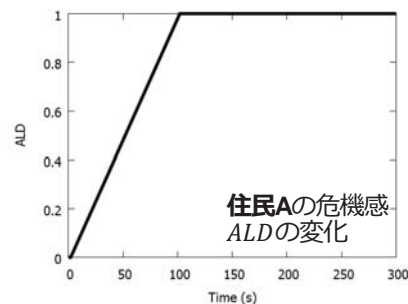
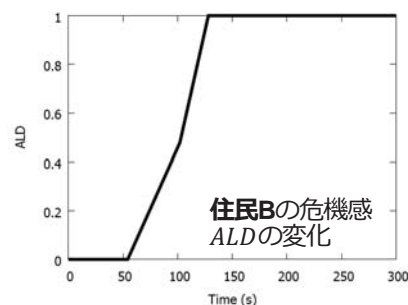
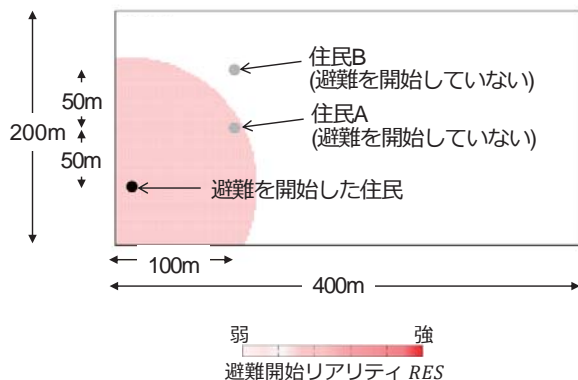
避難のきっかけ	回答割合 (%)	取得割合 (%)	比	重み ($\times 10^3$)
地震の揺れ	45.6	100.0	1.000	7.10
大津波警報	27.9	61.1	1.002	7.12
行政の呼びかけ	17.5	51.8	0.741	5.26
住民の呼びかけ	27.0	80.2	0.739	5.25
避難者の目撃	16.8	86.9	0.423	3.01

(参考) 中央防災会議防災対策推進検討会議津波避難対策検討ワーキンググループ：東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査(主な調査結果), http://www.bousai.go.jp/jshin/tsunami/hinan/pdf/20121221_chousa1_1.pdf, 2016年1月参照。

16

避難者発生モデル

- ◇ 簡単な例



17

目次

1. 研究背景, 目的
2. 津波避難シミュレータの開発
3. 実地域への適用と分析
4. まとめ, 今後の課題・展望

21

3. 実地域への適用と分析

屋内施設への適用

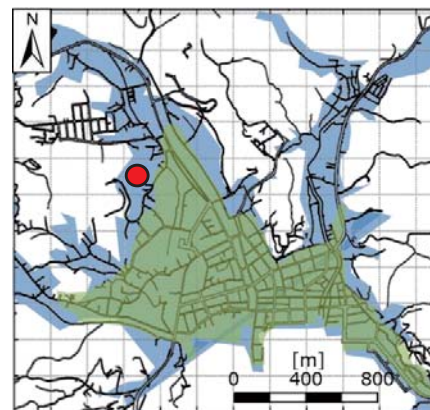
- ◇ 開発したシミュレータは、適用する**施設屋内の間取り**、**避難開始時の人々の配置**が既知である場合、屋内施設からの避難事例に適用できる。
- ◇ 高齢化社会を迎えた我が国における高齢者の避難の重要性に注目し、東日本大震災において甚大な津波被害を受けた**高齢者施設**（宮城県南三陸町）を対象にシミュレータを適用し、避難開始の分析をおこなった。



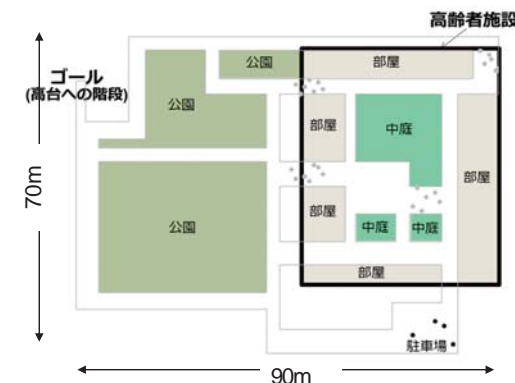
写真：高齢者施設（震災発生9か月後）

3. 実地域への適用と分析

屋内施設への適用



図：高齢者施設の位置関係と浸水域
 実際の津波浸水域（青）
 予想浸水域（震災前）（緑）

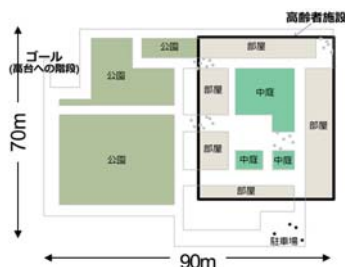


図：高齢者施設の空間モデルと職員の配置

3. 実地域への適用と分析

屋内施設への適用

- ◇ 奥村ら(2013)*が施設職員から得た証言等をもとに、高齢者施設の空間モデルおよび職員の配置を設定した。
- ◇ 職員は右図の左上部にある高台への階段を目指し避難を行う。
- ◇ 駐車場にいた職員4人が避難を開始してから津波が施設に到達するまでの160秒間(推定)を解析時間とする。
- ◇ 証言をもとに、シミュレーションでは各職員は施設利用者(高齢者)1名を連れて避難すると設定した。



図：高齢者施設の空間モデルと職員の配置

表：再現計算における諸元

対象人数	30(人)
解析時間	160(s)

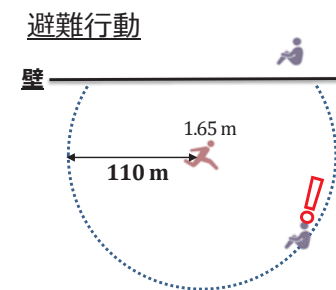
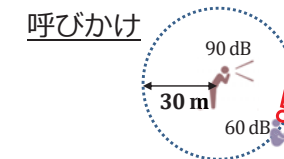
3. 実地域への適用と分析

ソースの設定

- ◇ 当該施設内外で避難開始リアリティを醸成するソースを、**津波氾濫**、**呼びかけ**、**避難行動**とした。

表：ソースの特徴

ソース	数	重み	特徴
津波氾濫 (視覚情報)	1	8.4×10^{-3}	施設屋外でのみ影響 (壁などの遮蔽物によって影響が遮断)
呼びかけ (聴覚情報)	最大30	4.2×10^{-3}	避難行動者を中心とした 半径30m以内に影響
避難行動 (視覚情報)	最大30	2.5×10^{-3}	避難行動者を中心とした 半径110m以内に影響 (壁などの遮蔽物によって影響が遮断)

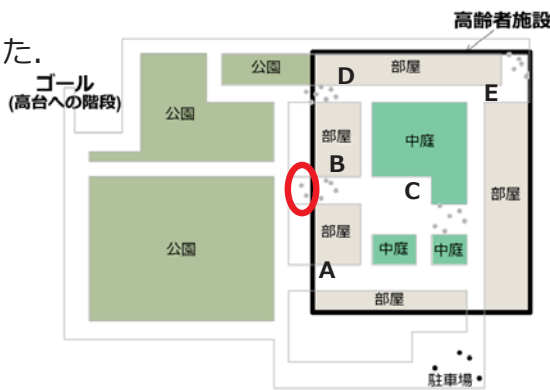


* (参考) 奥村与志弘, 中道尚宏, 清野新史: 想定を超える津波からの避難の特徴と対策 - 宮城県志津川地区の事例分析 -, 土木学会論文報告集B2 (海洋工学), Vol.69, No.2, pp.1366-1370, 2013.

妥当性の評価

◇ 再現計算の妥当性の評価指標として以下2点を設定した。

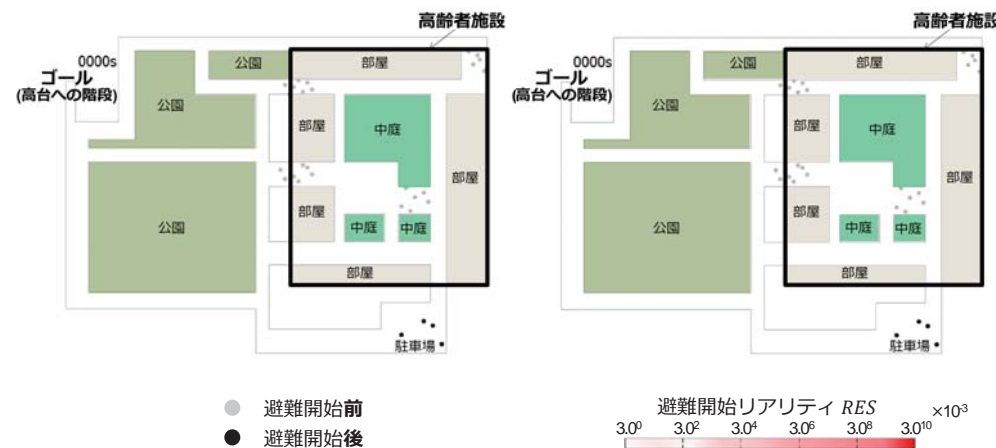
- 津波の第一波に飲まれず避難を完了した職員は30人中10人ほどであった。
- エリアBの屋外にいた職員は、津波氾濫を目撃し危機感を高め、他の職員の呼びかけを聞き、避難を開始した。



図：高齢者施設の空間モデルと職員の配置

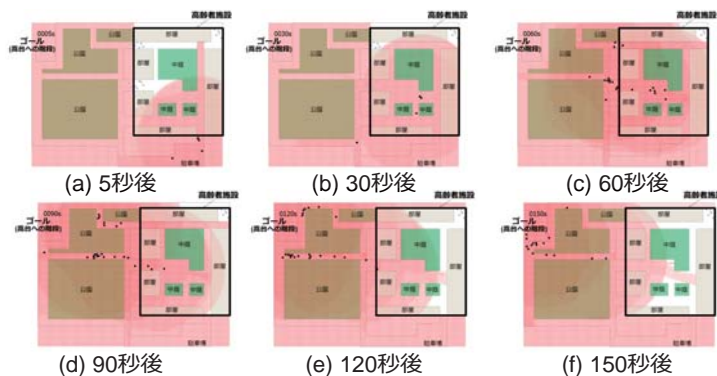
避難開始と避難行動

避難開始リアリティ



解析結果

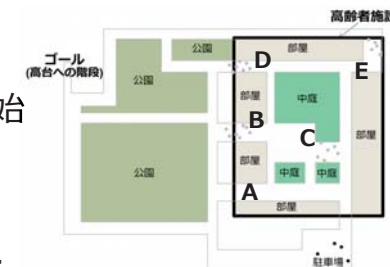
- ◇ 再現計算の結果、妥当性の評価指標を概ね満たす結果を得られた。
 - 避難を完了した職員は10人であった。
 - 屋外にいた職員は、津波氾濫を目撃し、他の職員の呼びかけを聞き、避難を開始した。
- ◇ 関係者の証言に基づく条件設定下において、当該シミュレータを用いて、高齢者施設における津波避難の状況を概ね再現できた。



図：高齢者施設における津波避難再現計算のスナップショット

避難開始の分析

- ◇ 対象施設における避難開始リアリティは、エリアCの職員の避難開始とともに大きく醸成され始めた。
- ◇ そのため、**エリアCの職員の避難開始が施設全体の避難開始を促す大きな要因であった**と考えられる。
- ◇ 施設内外で醸成された避難開始リアリティは、**呼びかけによる影響が最も大きく、避難行動による影響は小さい。**
- ◇ **当該施設内は壁が多いため、他者の避難行動による視覚情報が遮断される**と考えられる。



- 1. 研究背景, 目的
- 2. 津波避難シミュレータの開発
- 3. 実地域への適用と分析
- 4. **まとめ, 今後の課題・展望**

まとめ

- ◇ **直感的な避難開始**に基づく津波避難シミュレータを開発した。
- ◇ 開発した避難者発生モデルは, 以下の手順で表現される。
 - ① 人々の行動や自然現象によって**避難開始リアリティが醸成される**
 - ② **住民は周囲の避難開始リアリティ感じ危機感を高める**
 - ③ 危機感が上限 (閾値) を超えると**避難行動を開始する**
- ◇ 当該シミュレータを高齢者施設における津波避難事例に適用し, 関係者の証言に基づく条件設定下において, 避難の状況を概ね再現できることを確認した。
- ◇ 当該シミュレータは, 適用する**施設屋内の間取り, 避難開始時の人々の配置**が既知である場合, 屋内施設からの避難事例に適用できる。

課題

- ◇ 地域に応じた**危機感の上限 (閾値) θ の分布**をどのように設定するか。
- ◇ 地域の避難開始において, **論理的判断, 直感的判断** (もしくはその両方) の割合をどのように設定するか。

展望

- ◇ 迅速な津波避難に向けて, **どの場所に, どのタイミングで避難開始リアリティを醸成するソース** (防災行政無線, 広報車など) を配置したら**効果的か**分析し, 地域の津波対策に貢献する。
- ◇ どのような**建造物の配置**が避難開始リアリティを醸成しやすいかなどを分析し, **迅速な津波避難を可能とする街づくり**に貢献する。

**ご清聴
ありがとうございました。**