

公益社団法人 日本地震工学会

津波などの突発大災害からの避難の課題と対策に  
関する研究委員会

報 告 書

平成 28 年 3 月

津波などの突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会

Research Committee on the Evacuation from Tsunamis and  
Unexpected Large Natural Disasters

公益社団法人 日本地震工学会  
津波などの突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会  
報告書 目次

<b>1. 研究委員会の概要</b>	
1.1 研究委員会設置の趣旨と研究項目	1
1.2 研究体制	1
1.3 活動の概要	2
1.4 研究成果の報告、公表	4
<b>2. 津波避難部会</b>	
2.1 目的と成果概要	9
2.2 東日本大震災における津波避難の実態調査資料の収集・分析とデータ公開	9
2.3 南海トラフ地震津波の被災が予測される地域における避難対策ケーススタディ	28
2.4 津波避難の課題と対策	35
付表 東日本大震災津波避難調査の事例	38
<b>3. 都市避難部会</b>	
3.1 目的と成果概要	41
3.2 震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題	42
3.3 北千住駅周辺エリアにおける水害対策の取り組み事例	51
<b>4. シミュレーション普及部会</b>	
4.1 目的と成果概要	59
4.2 避難シミュレーションの品質保証方法の検討	59
4.3 Validation と Verification の公募と評価	60
<b>5. 国際交流部会</b>	
5.1 目的と成果概要	76
5.2 海外における避難関係文献・資料の収集と分析	76
5.3 第16回世界地震工学会議において津波避難特別テーマセッションを提案	78
5.4 タイにおける自然災害リスク評価と災害避難研究の概要	78
5.5 インドネシア・バンダアチェ住民の大規模避難行動と東日本大震災における避難行動との比較	82

5.6	チリ国における津波避難調査事例について	89
5.7	雨量に基づく土砂災害警戒避難基準に関する海外文献調査	94
5.8	まとめ	99
6.	委員会に関連する研究発表	100
7.	参考資料（巻末 CD）	
	参考資料 1 避難シミュレーションの V/V マニュアル	
	参考資料 2 「スーパーコンピュータを使う地震シミュレーションの利用」 震災対策技術展(仙台)原稿	
	参考資料 3 「災害時の交通モニタリングと避難シミュレーションの最前線」 震災対策技術展(横浜)原稿	

## 1. 研究委員会の概要

### 1.1 研究委員会設置の趣旨と研究項目

東日本大震災では津波から避難できなかった1万8千名余の人命が失われた。南海トラフ地震で再び多くの人命が失われないようにするためにも、また火災・洪水との複合化が懸念される大都市直下地震に的確に対応していくためにも、技術者研究者が突発大災害からの避難の課題を継続的に研究し、対策に資する情報を発信していく場が必要である。そして、その研究活動には多分野の協力が必要であると考えられることから、分野横断的学会である日本地震工学会に「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会」（以下、避難の研究委員会と略す）が設けられた。

避難の研究委員会は次の4項目を研究課題として取り上げた。

- (1) 東日本大震災における津波避難の調査データの整理、分析、公開と知見の発信
- (2) 首都直下地震とそれが火災・洪水と複合化する場合の避難の課題
- (3) 防災教育と避難対策分析のツールとしての避難シミュレーションの利用促進
- (4) 低頻度である巨大災害からの避難の事例をより多く収集するための海外との情報交流

### 1.2 研究体制

避難の研究委員会は2012年8月に発足し、2016年3月末をもって活動を終了した。その間に公募などを通じて38名が委員（表1.2.1）として参加した。そして委員会内に上述の研究項目に対応した4つの部会が設けられ、委員はいずれかの部会に属して研究活動を行った。一方、委員の中から委員長を含む5名の幹事団（表1.2.1）が選出され委員会全体の運営にあたった。

表 1.2.1 研究委員会名簿

名前	所属	備考	名前	所属	備考
後藤 洋三	東京大学地震研究所	委員長	小山 真紀	岐阜大学	委員
柳原 純夫	奥村組土木技術部	副委員長	島村 誠	東京大学大学院	委員
山本 一敏	パシフィックコンサルタンツ	幹事長	鈴木 光	消防科学総合センター	委員
市古 太郎	首都大学東京	副幹事長	末松 孝司	東京工業大学	委員
佐藤 誠一	日本工営	第1部会長	高田 和幸	東京電機大学	委員
久田 嘉章	工学院大学	第2部会長	田中 努	エイト日本技術開発	委員
堀 宗朗	東京大学地震研究所	第3部会長	谷下 雅義	中央大学	委員
村上 ひとみ	山口大学	第4部会長	照本 清峰	人と防災未来センター	委員
荒木 秀朗	構造計画研究所	委員	中須 正	防災科学技術研究所	委員
有川 太郎	中央大学	委員	仲村 成貴	日本大学	委員
池田 浩敬	富士常葉大学	委員	廣井 悠	名古屋大学	委員
生田 英輔	大阪市立大学	委員	真船 奨	JR 東日本防災研究所	委員
磯打 千雅子	香川大学	委員	三上 卓	徳島大学	委員
大原 美保	土木研究所	委員	三上 貴仁	早稲田大学	委員
小川 雄二郎	防災インターナショナル	委員	森 伸一郎	愛媛大学	委員
奥村 与志弘	京都大学	委員	山下 倫央	産業総合技術研究所	委員
大森 高樹	日建設計シビル	委員	山田 武志	ベクトル総研	委員
甲斐 芳郎	高知工科大学	委員	ユンナミ (尹 南二)	早稲田大学大学院院生	委員
北浦 勝	金沢職人大学校	委員	山本 正直	放送大学大学院生	オブザーバ
久保 智弘	防災科学技術研究所	委員	Farnaz Mahdavian	京都大学大学院院生	オブザーバ

## 1.3 活動の概要

### 1.3.1 委員会全体としての活動概要

#### (1) 学会におけるオーガナイズドセッションの開催

2012年度と2013年度の日本地震工学会年次大会、ならびに2014年年度の第14回日本地震工学シンポジウムにおいてオーガナイズドセッションを開催した。

#### (2) 研究委員会主催ワークショップの開催

2014年3月と2016年5月に技術者研究者を対象としたワークショップ「命を守る避難の課題」を開催した。2016年5月のワークショップは研究委員会の終了報告会を兼ねた。

#### (3) 論文集特集号の企画編集

日本地震工学会論文集第15巻5号（特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」）を2015年10月に発刊した。

#### (4) 研究委員会報告書の作成

本報告書を作成した。

#### (5) アウトリーチ活動

横浜、大阪、仙台で毎年開催されている震災対策技術展で「命を守る避難の課題」というカバータイトルのもと計6回のセミナーを企画、開催した。また、2015年震災対策展（横浜）における日本地震工学会のブース展示では避難シミュレーションのデモ展示を行った。

その他、日本地震工学会のWebサイト内の避難の研究委員会のページに資料ページを設け、取りまとめた調査資料、研究成果、セミナーなどでの配付資料の公開を行っている。

#### (6) 委員会の開催

委員全員を対象とした委員会を20回開催した。各回、運営に関する協議を行うと共に情報交換により各部会の活動状況を共有した。また、原則として委員の研究活動のトピックスや成果を紹介する時間帯を設け研究委員会全体としての研鑽に努めた。

委員会開催の際は、Web会議システム（Google Hangouts）を使用して遠隔地委員の会議参加をはかったが、セキュリティに制約されずにブロードバンドでインターネットに接続できる会議室が必要となった。そのため、委員の一人、工学院大学建築学部の久田嘉章教授にご協力いただき、同大学の新宿キャンパス内の会議室を提供いただくことが多くなった。ご協力に深謝する次第である。

### 1.3.2 各部会の活動の概要

#### (1) 津波避難部会（第1部会）

東日本大震災における津波避難の調査データについては、「東日本大震災津波避難合同調査団（団長：今村文彦東北大学教授）」による調査が先に行われており、その調査団の山田町・石巻市調査担当チームに当部会のメンバーが多数参加していたことから、この部会ではそのデータを引き継ぎ、追加的なデータ整理、分析、公開を行った。また、南海トラフ地震による津波で被害を受けることが懸念されている高知県の自治体に赴いて防災担当者とのワークショップを行い、東日本大震災の調査で得られた知見を紹介すると共に、東北とは異なる課題の抽出を行った。さらにその自治体を対象に津波避難シミュレーションを行い、自治体と住民に紹介してリスク要因の認識と防災対策検討の一助とした。

表 1.3.1 津波避難部会（第1部会）名簿

名前	所属	備考	名前	所属	備考
佐藤 誠一	日本工営	第1部会長	小山 真紀	岐阜大学	部会委員
有川 太郎	中央大学	部会委員	鈴木 光	消防科学総合センター	部会委員
池田 浩敬	富士常葉大学	部会委員	田中 努	エイト日本技術開発	部会委員
生田 英輔	大阪市立大学	部会委員	谷下 雅義	中央大学	部会委員
市古 太郎	首都大学東京	部会委員	仲村 成貴	日本大学	部会委員
小川 雄二郎	防災インターナショナル	部会委員	三上 卓	徳島大学	部会委員
大原 美保	土木研究所	部会委員	村上 ひとみ	山口大学	部会委員
甲斐 芳郎	高知工科大学	部会委員	森 伸一郎	愛媛大学	部会委員
北浦 勝	金沢職人大学校	部会委員	柳原 純夫	奥村組土木技術部	部会委員
後藤 洋三	東京大学地震研究所	部会委員	山本 一敏	パシフィックコンサルタンツ	部会委員

### (2) 都市避難部会（第2部会）

東京などの過密大都市が直下地震に襲われた場合、あるいは地震に火災や洪水などが加わる複合災害に見舞われた場合に、被災の程度と状況に応じて、避難しないも含めた適切な避難誘導を行い、被害の影響を最小限にすることが重要である。そのような観点から研究委員会発足の当初にこの部会が設けられた。しかし、2014年4月に首都直下地震対策を主に検討する日本地震工学会会長特別委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」が設置され、この部会で企画していた調査研究はその特別委員会の活動と一体となり実施されることとなった。

表 1.3.2 都市避難部会（第2部会）名簿

名前	所属	備考	名前	所属	備考
久田 嘉章	工学院大学	第2部会長	小山 真紀	岐阜大学	部会委員
生田 英輔	大阪市立大学	部会委員	末松 孝司	東京工業大学	部会委員
磯打 千雅子	香川大学	部会委員	高田 和幸	東京電機大学	部会委員
大原 美保	土木研究所	部会委員	廣井 悠	名古屋大学	部会委員
大森 高樹	日建設計シビル	部会委員	真船 奨	JR 東日本防災研究所	部会委員
小川 雄二郎	防災インターナショナル	部会委員	森 伸一郎	愛媛大学	部会委員
奥村 与志弘	京都大学	部会委員	山下 倫央	産業総合技術研究所	部会委員
久保 智弘	防災科学技術研究所	部会委員	ユンナミ (尹 南二)	早稲田大学大学院院生	部会委員

### (3) 避難シミュレーション普及部会（第3部会）

人間や自動車の行動規範をプログラムされたモデルが電子地図上で目的地に向かって移動するシミュレーション技術を津波・洪水・火災などからの避難のシミュレーションに適用する試みは2000年代の初めから行われていて、動画で表示すると避難意識の向上や避難経路のボトルネックの分析に役立つことが確認されていた。そして、東日本大震災によりその活用に関心が向けられるようになり、多くの研究機関、ソフトサービス機関、コンサルタントなどがシミュレーションソフトの開発や既往ソフトの導入を進めてきた。しかし、それらの中には信頼性の確認が不十分であったり、シミュレーションアルゴリズムがブラックボックスのまま利用されていたりして、良質なシミュレーションが普及する足かせになることが懸念された。

そこで部会では、避難シミュレーションソフトの検証と実証、すなわち Verification と Validation (以下 V&V) の手順を提案し標準的なマニュアルを作成し、先行的に3種のシミュレーションソフトの V&V を実施してマニュアルの適用性を確認した。そして、V&V 自体の普及をはかるため、2015年7月より避難シミュレーショ

ンを開発している機関に V&V への参加を呼びかけ、2016 年 1 月までに 9 つの機関にエントリーいただいて V&V を実施していただいた。その結果、6 機関からレポートが提出された。

それらの経緯と妥当性の確認結果をこの報告書で取りまとめている。

表 1.3.3 避難シミュレーション普及部会（第 3 部会）名簿

名前	所属	備考	名前	所属	備考
堀 宗朗	東京大学地震研究所	第 3 部会長	末松 孝司	東京工業大学	部会幹事
荒木 秀朗	構造計画研究所	部会委員	谷下 雅義	中央大学	部会委員
池田 浩敬	富士常葉大学	部会委員	照本 清峰	人と防災未来センター	部会委員
奥村 与志弘	京都大学	部会委員	山田 武志	ベクトル総研	部会委員
後藤 洋三	東京大学地震研究所	部会委員	ユンナミ (尹 南二)	早稲田大学大学院院生	部会委員
佐藤 誠一	日本工営	部会委員			

#### (4) 国際交流部会（第 4 部会）

巨大災害により多数の人が危急に避難する事態は低頻度であり、多くの事例を学ぶためには、国際的な視野で事例を収集していく必要がある。この部会では、海外における災害避難関係資料・文献のメタ情報を収集し、テキストマイニングを行って、研究動向と研究内容を分析し全体像の把握を試みた。また、それらの中の特徴的な研究についてはレビューを行った。研究にとどまらず海外における実践的な避難対応計画や災害対応マニュアルを調査した。さらに海外における大規模災害情報の基礎的なデータベースの情報を調査した。

部会では、チリ、タイ、インドネシアにおける津波避難の研究事例、モンゴルにおける防災計画などの事例を部会員が適時報告し、総合討論を行った。さらに、2017 年 1 月にチリで開催される第 16 回世界地震工学会議を国際的な情報発信の機会ととらえ、チリの専門家をサポートして津波避難に関する特別セッション（SS60、座長は Rodrigo Cienfuegos 教授, CIGIDEN, チリ）を開催することとした。

部会は毎回 Web 会議システムにより開催し、部会員の 1 名がタイに転職後も継続して参加して貰うことができた。また、タイの研究者との交流も実現した。

表 1.3.4 国際交流部会（第 4 部会）名簿

名前	所属	備考	名前	所属	備考
村上 ひとみ	山口大学	第 4 部会長	島村 誠	東京大学大学院	部会委員
小川 雄二郎	防災インターナショナル	部会委員	中須 正	防災科学技術研究所	部会幹事
後藤 洋三	東京大学地震研究所	部会委員			

### 1.4 研究成果の報告、公表

#### 1.4.1 委員個人の研究発表

大部分の研究は委員個人の研究として実施されている。避難の研究委員会の研究対象に関連した内容で、委員が主著者か共著者となり、かつ 2012 年 4 月から 2016 年 4 月までの間に発表あるいは発表予定となった研究論文のリストとその概要を 6 章に示す。自己申告であるため漏れがあると思われるが 63 論文が発表された。

#### 1.4.2 研究委員会としての発表の取り組み

上記 1.4.1 のリストと重複するところがあるが、研究委員会として発表、あるいは発表活動を以下に示す。

##### (1) 避難の研究委員会が主催したオーガナイズドセッション (OS)

###### a) 2012 年日本地震工学会年次大会における OS

セッション名：東日本大震災における避難・対処行動、座長：市古太郎

- ・石巻市、山田町、野田村における発災当日の避難行動遷移パターン：市古太郎、山本一敏
- ・東日本大震災津波時の石巻市小中学校における学校対応に関するヒヤリング調査：三上卓、北浦勝
- ・石巻市でなくなれた高齢者の津波来襲時の行動調査：三上卓、後藤洋三、佐藤誠一
- ・石巻本庁地区における避難行動の移動手段・距離からの分析：柳原純夫、村上ひとみ
- ・山田町の地区・街区別にみた津波被災要因の分析：後藤洋三
- ・宮城県南三陸町における津波避難場所・ビルの空間配置に関する一考察：大原美保、牧之段浩平、佐藤孝紀
- ・500m メッシュ統計をベースとした市町村別死者発生状況：小山真紀、石井儀光、古川愛子、清野純史、吉村晶子
- ・2010年チリ・マウレ地震の被災地域ピオビオ州における津波対策ヒヤリング調査：村上ひとみ、Ignasia Calisto、三浦房紀
- ・大規模震災時の大都市における避難に関する課題一何からいつ・どこに避難すべきか、あるいは、留まるべきか：久田嘉章

<避難の研究委員会委員以外の方からの発表>

- ・Development of Multi Agent Simulation Using High Performance Computing and Introducing Official Agents : W. Lalith, M. Hori

#### b) 2013年日本地震工学会年次大会におけるOS

セッション名：大災害時の避難問題（津波と洪水からの避難・対処行動および駅前滞留問題）、

座長：市古太郎

- ・東日本大震災における避難行動パターンと移動距離の関係：山本一敏、柳原純夫
- ・移動距離、手段からみた平野部、リアス部の避難特性：柳原純夫、村上ひとみ、仲村成貴
- ・東日本大震災の津波に対する名取市閑上地区の避難施設聞き取り調査：村上ひとみ
- ・石巻市門脇町、南浜町の避難行動の聞き取り調査（その1）-住民の避難行動-：後藤洋三
- ・石巻市門脇町、南浜町の避難行動の聞き取り調査結果（その2）-大規模事業所、学校、病院、福祉施設等からの避難-：後藤洋三
- ・工業団地における企業避難と連鎖的経済被害：2011年タイ・チャオプラヤ川洪水の事例：中須正、岡積敏雄、清水孝一
- ・ターミナル駅周辺における災害時の群集挙動シナリオに関する検討-JR北千住駅周辺地区でのケーススタディー：大原美保、藤生慎、山下倫央、高田和幸

<避難の研究委員会委員以外の方からの発表>

- ・超高層ビル街における災害時の建物被害確認と情報集約に関する研究：鱒沢曜、久田嘉章、田中聡、宮村正光、諏訪仁、飯塚章仁

#### c) 2014年第14回日本地震工学シンポジウムにおけるOS

セッション名：OS11 東日本大震災における津波避難行動と今後の津波避難対策

座長：後藤洋三、市古太郎

- ・東日本大震災における津波からの避難行動パターン：山本一敏、柳原純夫
- ・東日本大震災における「主体的な津波避難」に関する考察-山田町・石巻中心市街地での比較分析-：市古太郎
- ・地域の津波避難力を評価する指数の提案と岩手県山田町における検証：後藤洋三
- ・南海トラフ地震に備える津波避難手段の課題-愛知県田原市の事例-脇浜貴志、村上ひとみ、小山真紀
- ・南海トラフ地震における津波避難の課題-津波対策が迫られるある地域を対象とした意見交換会-：佐藤誠一、柳原純夫、後藤洋三
- ・要援護者を考慮したDEMによる避難シミュレーションプログラムの開発：小山真紀・湯浅亮・奥村与志弘、土肥裕史、清野純史

<避難の研究委員会委員以外の方からの発表>



- ・東北地方太平洋沖地震による石巻市行政区別犠牲者率の影響要因：谷下雅義、三上卓
- ・自動車を用いた津波避難の評価～東日本大震災で被災した宮城県気仙沼市を事例として～：藤生慎、高田和幸、中山晶一郎、高山純一
- ・津波ハザード情報の利活用に関する自治体意向調査：大角恒雄、中村洋光、平田賢治、長田正樹、藤原広行
- ・津波避難における被害人口評価の考察：藤田謙一、矢代晴実
- ・避難の意思決定に関する探索的研究—日本海沿岸住民に対する津波意識調査より—関谷直也、田中淳
- ・津波避難安全性への住民属性の経年変化による影響に関する基礎的研究：源貴志、成行義文

## (2) 論文集特集号の発行

日本地震工学会論文集第15巻5号（特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」2015年10月）を編集、発行した。この論文集には避難の研究委員会の各部会からの報告が4編、委員個人の研究論文が4編投稿され掲載された。

### <部会報告>

- ・海外における避難関係文献・資料の収集・分析：村上ひとみ、中須正、島村誠、後藤洋三、小川雄二郎
- ・東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果—調査概要—：後藤洋三、池田浩敬、市古太郎、小川雄二郎、北浦勝、佐藤誠一、鈴木光、田中努、仲村成貴、三上卓、村上ひとみ、柳原純夫、山本一敏
- ・東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果—データ特性分析—：後藤洋三、池田浩敬、市古太郎、小川雄二郎、北浦勝、佐藤誠一、鈴木光、田中努、仲村成貴、三上卓、村上ひとみ、柳原純夫、山本一敏
- ・避難シミュレーションにおける品質保証の現状と今後の展望：堀宗朗、末松孝司、荒木秀朗、奥村与志弘、土肥裕史

### <研究論文>

- ・自治体によるPUSH型・PULL型の災害・避難情報伝達に関する実態調査：大原美保
- ・東日本大震災における「主体的な津波避難」に関する考察—山田町・旧石巻市域での比較分析—：市古太郎
- ・要援護者を考慮したDEMによる避難シミュレーションプログラムの開発と南あわじ市阿万塩屋町中西地区におけるケーススタディ：小山真紀、湯浅亮、奥村与志弘、土肥裕史、清野純史
- ・ターミナル駅周辺における災害時の群集挙動に関する課題—東京都足立区千住周辺地区での事例—：大原美保、藤生慎、山下倫央、高田和幸

### <避難の研究委員会委員以外の方からの研究論文>

- ・予測強震動を用いた建物倒壊想定に伴う道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション：伊藤恵理、川瀬博、松島信一、畑山満則

## (3) 研究資料の公表

シミュレーション普及部会により避難シミュレーションソフト品質保証のためのV&Vマニュアルが取りまとめられ日本地震工学会の避難の研究委員会のWebページで公表された。

[http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2012/08/VV\\_manual\\_v3.pdf](http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2012/08/VV_manual_v3.pdf)

また、V&Vに参加した11機関の結果が本報告書と研究委員会のWebページで公表された。

## (4) 東日本大震災の避難調査データの公表

東日本大震災津波避難合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）による1,235人に付いての避難行動調査データを研究委員会のWebで公開（要パスワード請求）した。

<http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2015/07/合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）調査データのダウンロードページ.html>

#### (5) 委員会主催によるワークショップと報告会の開催

a) ワorkshop「命を守る避難の課題」2014、3月10日、会場：工学院大学新宿キャンパス  
特別講演：「災害時・平常時の人の動線の分析」 関本義秀

避難の研究委員会の委員による一般発表

- ・首都直下地震における避難の課題：久田嘉章
- ・中規模ターミナル駅周辺での避難の課題の事例分析：大原美保、山下倫央
- ・ニューヨーク・ハリケーンによる高潮災害と減災・避難対策：三上貴仁
- ・避難シミュレーションにおける品質保証の現状と将来展望：末松孝司
- ・南海トラフ地震対策に迫られているある自治体の避難の課題：佐藤誠一
- ・津波災害における要援護者の避難時間と協働による対応策に向けて：三浦浩史、小山真紀、安東直紀、山田圭二郎
- ・津波犠牲者の調査から得た津波避難の課題：三上 卓

b) 研究委員会報告会「命を守る避難の課題」2016、5月10日、会場：工学院大学新宿キャンパス

- ・特別講演：『「避難」のスイッチ、どう入れる？』：中川和之
- ・部会報告
- ・パネルディスカッション

#### (6) 震災対策技術展併催セミナーによるアウトリーチ

「命を守る避難の課題」をカバータイトルとして、以下の震災対策技術展において一般向けの講演とパネルディスカッションを開催した。

a) 2014年横浜、2月7日、サブタイトル：「命を守る避難の課題」、会場：パシフィコ横浜

- ・大津波からの避難の課題と対策 — 1万8千余名の死者行方不明者が残した教訓 —：後藤洋三
- ・大都市における避難の課題と対策：久田嘉章
- ・避難シミュレーションの最先端：末松孝司

b) 2014年大阪、6月18日、サブタイトル：「巨大地震災害に大阪はどう立ち向かうか」、会場：コングレコンベンションセンター

- ・来るべき大規模地震による火災リスクに備えて — 市街地火災の発生を「想定」の視野に入れて —：関澤愛
- ・大阪市が抱える避難の課題と対策：水野智雄
- ・パネルディスカッション：コーディネータ：小山真紀  
話題提供1 大規模地下街からの津波避難：奥村与志弘  
話題提供2 津波災害における要援護者の避難時間と協働による対応策に向けて — 南海トラフの地震を想定して —：三浦浩史  
話題提供3 津波避難施設への避難計画：生田英輔  
登壇者：話題提供者＋関澤愛、水野智雄

c) 2014年仙台、8月7日、サブタイトル：「次の津波からどう逃げるか」 — 渋滞リスクを減らす作戦を考える —  
会場：AER ビル

- ・建物避難を生かす途、学校防災の教訓と未来に向けて：瀬尾和大
- ・自転車避難のポテンシャルとその利点、活用条件を考える：村上ひとみ

d) 2015年大阪、6月5日、タイトル：命を守る避難の課題 — 大阪地下街の安全対策は？ —、会場：コングレコンベンションセンター

- ・特別講演1 大規模地下街の構造と避難の課題：谷口与史也
- ・特別講演2 大阪市の大規模地下空間浸水対策：水野智雄

- ・事例報告1 大阪地下街株式会社の防災対策について：井下泰具
- ・事例報告2 新宿駅周辺地域における産官学連携の防災・減災活動：久田嘉章
- ・パネルディスカッション コーディネーター：生田英輔  
登壇者：谷口与史也、水野智雄、井下泰具、久田嘉章、廣井悠

e) 2015年仙台、8月6日、タイトル「命を守る津波避難のシミュレーション」、会場：AERビル

- ・基調講演 スーパーコンピュータを使う地震シミュレーションの利用：堀宗朗
- ・講演1 シミュレーションで考える、災害と避難の関係：荒木秀朗
- ・講演2 津波避難シミュレーションの活用事例：末松孝司

f) 2016年横浜、2月5日、タイトル：命を守る津波避難のシミュレーションー災害時交通モニタリングと避難シミュレーションの最前線ー、会場：パシフィコ横浜

- ・基調講演 災害時の交通モニタリングと避難シミュレーションの最前線：桑原雅夫
- ・講演1 シミュレーションで考える、災害と避難の関係：荒木秀朗
- ・講演2 津波避難シミュレーションの活用事例：末松孝司

## 2. 津波避難部会

### 2.1 目的と成果の概要

津波避難部会を設置した目的は

- ①東日本大震災における津波避難の実態調査資料の収集・分析とデータ公開
- ②南海トラフ地震津波の被災が予測される地域における避難対策ケーススタディである。

①については、先行研究として任意参加の「東日本大震災津波避難合同調査団（団長：今村文彦東北大学教授）」による調査が有り、その山田町・石巻市担当チームに当部会のメンバーが多数参加していたことから、そのデータを引き継ぎ、追加的なデータ整理、分析、公開を行った。

②については、南海トラフ地震による津波で被害を受けることが懸念されている高知県の自治体に赴いて防災担当者とのワークショップを行い、東日本大震災の調査で得られた知見を紹介すると共に、東北とは異なる課題の抽出を行った。さらにその自治体を対象に津波避難シミュレーションを行い、自治体担当者に紹介し、今後の協力関係構築の一助とした。

### 2.2 東日本大震災における津波避難の実態調査資料の収集・分析とデータ公開

#### 2.2.1 対象とした調査資料

##### (1) 東日本大震災における津波避難の実態調査の事例

研究委員会が発足した2012年8月の時点で東日本大震災から1年半以上が経過しており、地震直後の津波からの避難行動の調査については、多数の研究機関と複数の政府機関による調査が進行中か終了していた。それらの事例を付表2.1に示す。

一方、部会メンバーの多数が参加していた「東日本大震災津波避難合同調査団（団長：今村文彦東北大学教授）」の山田町・石巻市担当チームの調査結果が公表できるような状態で整理されていなかったため、そのデータを部会が引き継ぎ、整理して公開することを部会活動の目標とした。

東日本大震災津波避難合同調査団の山田町・石巻市担当チームの調査内容とデータの1次的な分析結果は日本地震工学会論文集第15号第5巻（特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」、2015年10月）に2編に分けて投稿されているので詳しくはそちらを参照して頂くこととし、ここではその概要を述べる。

##### (2) 「東日本大震災津波避難合同調査団」山田町・石巻市担当チームによる調査の概要

###### 1) 合同調査団と山田町・石巻市担当チームについて

東日本大震災における津波避難の実態調査にあたり、多数の研究者による重複調査を避け、高い調査モラルを遵守して被災者に与える負担を軽減するため、土木学会地震工学委員会の「防災企画推進小委員会」と「市民の視点で地震防災を考える小委員会」の有志が呼びかけ人となって、東北大学の今村文彦教授を団長とする技術者・研究者の任意参加連携組織「東日本大震災津波避難合同調査団」が結成された。この連携の下で、宮古市田老地区、山田町、釜石市、陸前高田市、石巻市、名取市の調査が行われた。山田町・石巻市担当チームはそれらの中で中心的に活動した約20名のグループで、その多くが津波避難調査部会のメンバーとなっている。

###### 2) 山田町と石巻市の被害の概況

山田町は岩手県沿岸部のほぼ中央に位置し、養殖漁業を主な産業とする人口約18,000人の町である。典型的なリアス地形で、東日本大震災による津波は6～20mに達し、死者行方不明者は740名に達している。

石巻市は人口16万人の宮城県第二の都市である。死者行方不明者は約3,480名で自治体単位では最大の被

害を被っている。石巻市は太平洋岸に面したリアス部と石巻湾に面した平野部に域別され、リアス部の被害傾向は他のリアス部と大凡同様であるが、平野部での沿岸部は人口密度が高く産業の集積も進んでいて、津波高さは 6m 程度であったが約 2,420 人の死者行方不明者を出している。なお、平野部で被害の大きかった地域は旧石巻市に相当する本庁地区であるので、以下、平野部のことを本庁地区と記す場合がある。

### 3)山田町・石巻市担当チームによる調査

山田町・石巻市調査担当チームは、山田町において 6 月から 9 月にかけて主に避難所と仮設住宅に滞在・入居していた住民 221 人に避難状況についてヒヤリング調査を行っている。また、石巻市の平野部（本庁地区）において 10 月から 12 月にかけて仮設住宅に入居していた住民を対象にヒヤリングとポスティング（返答郵送方式）による調査を行い、340 人と 681 人（リアス部で被災した人を除く）から回答を得ている。

## 2.2.2 山田町・石巻市担当チームの調査データの公開

### (1)公開のためのデータ整理

次の 2 項目を行った。

- ①紙ベースで記録されているヒヤリング、あるいはポスティング調査結果とエクセル表入力結果との齟齬の解消、ならびに被災者の回答の項目間の矛盾の解消
- ②ポスティング調査で回答された避難経路の GIS データ化

①では、まず担当した調査員の手元に保管されていた紙ベースの記録を回収し、エクセル表への記録漏れや重複がないかを確認した。次に、以下の項目について回答間で矛盾がないか確認し誤解に基づくと思われる回答ミスを修正した。

- i)大津波警報を避難する前には聞いていないと回答しながら、避難する前という前提の質問でどのような情報源から聞いたか答えている場合や、防災行政無線は良く聞き取れなかったとしながら、大津波警報を防災行政無線から聞いたと回答している場合。
- ii)大津波警報を避難する前には聞いていないと回答しながら、避難する前に聞いた情報でどのようなことを知ったか、そして聞いた予想津波高さを答えている場合
- iii)避難したと回答しているのにすぐに避難しなかった理由を答えている場合
- iv)津波に襲われるまで避難しなかったと回答しているのに、避難した理由を答えている場合
- v)津波では避難しなかったと答えているのに誰と避難したか答えている場合
- vi)最初に避難した場所から別の場所に移動したかどうかの質問に対する答えに対し、別の場所に移動した理由と最初に避難した場所が結果的に安全だったかどうかの答えが矛盾している場合
- vii)津波を見たかと言うと質問に対して見ていないと回答しながら目撃した津波の高さや来襲回数について答えている場合

これらの回答間の矛盾は、たとえば屋外スピーカーによる防災行政無線は良く聞き取れなかったが状況から大津波警報であることが推測できた場合の回答方法が明確でなかったり、後日得た知識も含めて回答者は知り得たことを全て回答しようとし質問者はそれを漏らさず記録しようとしたことにより生じたと思われる。そのため、原則として回答者に質問し答えを調査票に記載した担当者が見直して問題の解消を図った。加えて、エクセル表のデータと調査票の記載データを見比べるソフトを作成し、ダブルチェックを行った。整理された調査データは山田町と石巻市を併せて 1,216 件となった。

②ではポスティング調査において文字で回答された避難経路を GIS で標記できるデータに変換する作業を行った。最初に文字で回答された避難経路を担当者が解読して紙地図に手書きし、情報不足から途中経路などが不明確な部分を現地調査の経験者が修正あるいは追記した。そして、専用開発された避難経路入力支援ソフトを用い PC のモニター上に表示される道路ネットワーク図に紙地図で示される通過点をクリック入力することにより避難経路データを作成、さらに、GIS 用の SHP ファイルに変換した。

## (2) データのWEB公開

日本地震工学会の研究委員会紹介のWeb ページの中に以下のページを設けダウンロード出来るようにした。  
( <http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2015/07/合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）調査データのダウンロードページ.html> )



### 東日本大震災津波避難合同調査団 (山田町・石巻市担当チーム)

### 調査データ ダウンロードページ

東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)の調査データを閲覧・利用する際の確認事項

1. このサイトで公開する情報は自らの過酷な体験を今後の防災対策に生かせるならと調査に応じて下さった被災者の方々の情報です。協力いただいた被災者への畏敬の念を持って閲覧・利用することを前提とします。
2. 防災・減災に資する研究開発以外の目的で閲覧・利用することを禁止します。
3. このサイトの情報を使って被災者個人を大凡でも特定できるような表示、表現を行うことを禁止します。
4. このサイトの情報を使った研究成果を公表する際は「東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)の調査データ」を使用したことを記載して下さい。

ダウンロードリンク

[山田町におけるヒヤリング調査の質問票\(69KB\)](#)  
[山田町の町丁目とコード番号対応表\(27KB\)](#)  
[山田町におけるヒヤリング調査データ\(パスワード付き、75KB\)](#)

[石巻市におけるヒヤリング調査の質問票\(70KB\)](#)  
[石巻市におけるポスティング調査の質問票\(182KB\)](#)  
[石巻市本庁地区の町丁目とコード番号対応表\(48KB\)](#)  
[石巻市におけるヒヤリング調査データ\(パスワード付き、115KB\)](#)  
[石巻市におけるポスティング調査データ\(パスワード付き、280KB\)](#)  
石巻市本庁地区のポスティング調査で回答された避難経路の GIS データ

パスワード申請手順 <<ブラウザとしてGoogle Chrome(は使えません)>>

以下のボックスにお名前、御所属、E-mailアドレスをご記入の上、「パスワード請求」をクリックして下さい。  
お使いのメールが立ち上がりますので(Google Chromeは不可、Internet ExplorerとFirefoxは可であることを確認)、  
文面確認の上そのまま送信して下さい。  
自動応答でパスワードをお送りします。  
パスワードは申請者以外に開示しないください。

お名前  必須  
ご所属  必須、無い場合は無しと記載下さい  
E-mailアドレス  必須

[パスワード請求](#)

セキュリティーなどを懸念される方はJAEE事務局にお電話下さい。

---

パスワード請求があった場合の確認画面では次の確認を求めている。

- I. このサイトで公開する情報は自らの過酷な体験を今後の防災対策に生かせるならと調査に応じて下さった被災者の方々の情報です。協力いただいた被災者への畏敬の念を持って閲覧・利用することを前提とします。
- II. 防災・減災に資する研究開発以外の目的で閲覧・利用することは禁止します。

Ⅲ. このサイトの情報を使って被災者個人を大凡でも特定できるような表示、表現を行うことは公開非公開を問わず禁止します。

Ⅳ. このサイトの情報を使った研究成果を公表する際は「東日本大震災津波避難合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）の調査データ」を使用したことを必ず記載して下さい。

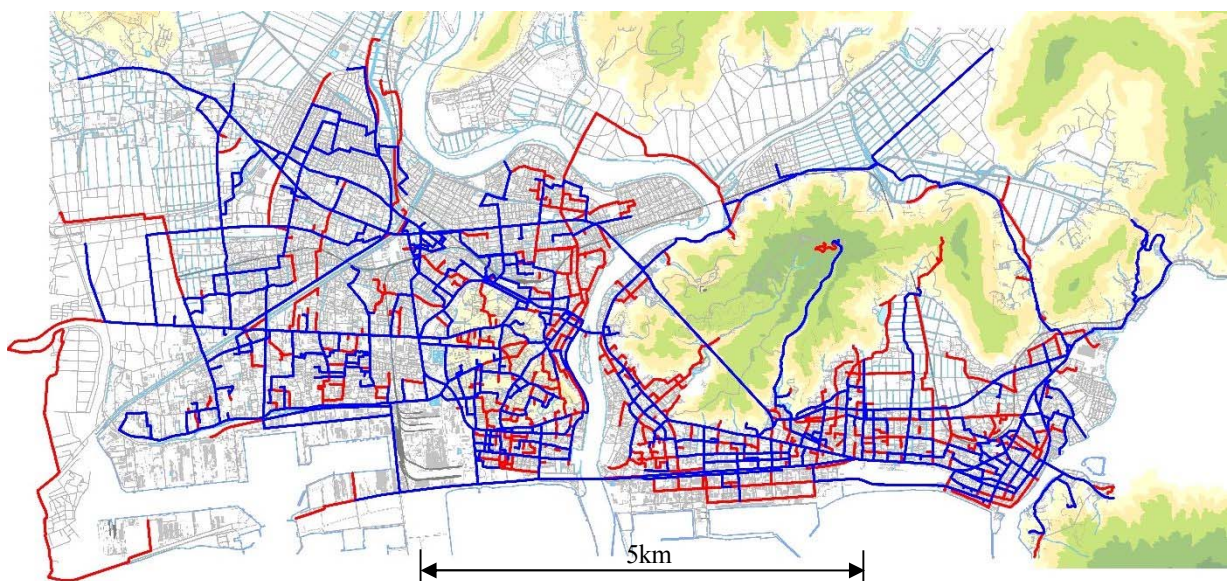
以上をご確認いただいたら下記の日本地震工学会事務局のアドレス宛 (erc@???jaec.gr.jp; 自動表示される) に以下の文面をメールして閲覧・利用を申請して下さい。折り返し回答データを開くためのパスワードをお送りします。お送りする情報の利用は申請者個人に限り、使い回しは禁止します。

ダウンロードできるヒヤリングデータの一例

A	B	C	D	E	F	G	H	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	
通番	調査回	調査者ID	調査者ID詳細	調査月日	調査避難所(個人情報につき削除)	問1地震発生時どこに居たか	問2津波来ると思ったか	問35年齢	問36性別	問37職業	住所(個人情報につき削除)	住所コード	問39居住年数	氏名(個人情報につき削除)	危険な目に遭ったか	被災場所	
1																	
2	1	1	1 01-001	2014/6/18		1	2	5	2	8		27	10		2	1	
3	2	1	1 01-002	2014/6/18		1	2	7	1	10		27	5		2	6	
4	3	1	1 01-003	2014/6/18		1	2	5	2	11		26			1	1	
5	4	1	1 01-004	2014/6/18		1	2	2	1	7		27	30		1	4	
6	5	1	1 01-005	2014/6/19		3	1	1	7	2		22	35		2	4	
7	6	1	1 01-006	2014/6/19		3	2	2	4	1		11	23		3	2	
8	7	1	1 01-007	2014/6/18		1	2	1	6	1		10	52	35		1	1
9	8	1	1 01-008	2014/6/19		1	4	2	6	1		10	61	35		1	2
10	9	1	1 01-009	2014/6/18		1	1	1	6	1		10	27	49		2	
11	10	1	1 01-010	2014/7/30		10	1	2	7	1		4	22	100		2	
12	11	1	2 02-001	2014/6/16		6	2	3	4	1		2	11	44		1	2
13	12	1	2 02-002	2014/6/16		1	1	7	7	2		3	11	45		2	
14	13	1	2 02-003	2014/6/16		3	2	6	6	2		3	11	56		2	
15	14	1	2 02-004	2014/6/16		3	2	6	6	1		10	11	50		2	
16	15	1	2 02-005	2014/6/17		8	4	6	6	2		7	61		2		
17	16	1	2 02-006	2014/6/17		1	3	2	2	1		7	11		2		
18	17	1	2 02-007	2014/6/17		2	1	4	4	1		7	11	43		2	
19	18	1	2 02-008	2014/6/17		1	4	7	7	2		8	24	13		2	
20	19	1	2 02-009	2014/6/17		1	1	6	6	2		8	24	40		2	
21	20	1	2 02-010	2014/6/17		1	1	6	6	2		6	29	47		2	
22	21	1	2 02-011	2014/6/17		6	3	5	5	2		8	25	15		1	2
23	22	1	2 02-012	2014/6/18		1	1	2	5	1		7	31	50		2	3
24	23	1	2 02-013	2014/6/18		2	2	2	3	2		7	31	1		2	
25	24	1	2 02-014	2014/6/18		2	3	4	4	2		7	31	50		2	
26	25	1	2 02-015	2014/6/18		3	3	2	3	1		7	31	14		2	
27	26	1	2 02-016	2014/6/18		1	1	2	6	1		3	31	40		1	3
28	27	1	3 03-001	2014/6/20		3	4	2	6	1		1	22	17		2	
29	28	1	3 03-002	2014/6/19		8	2	2	6	1		2	61	10		2	
30	29	1	3 03-003	2014/6/19		1	2	3	7	2		8	23	39		2	

ダウンロードできる GIS データから作成した避難経路図（石巻市本庁地区）

青が車避難、赤が徒歩避難、重複するところは青優先で書きしている。



### 2.2.3 山田町・石巻市担当チームの調査データによる避難の分析の事例

東日本大震災津波避難合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）の調査データを利用した分析は部会メンバーの個人研究として行われている。ここではその代表例を紹介し、部会による分析の報告に代える。

#### (1) 東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果—データ特性分析—

日本地震工学会論文集第15号第5巻（特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」、2015年10月）に投稿された論文である。著者は、後藤洋三、池田浩敬、市古太郎、小川雄二郎、北浦勝、佐藤誠一、鈴木光、田中努、仲村成貴、三上卓、村上ひとみ、柳原純夫、山本一敏である。以下にその抜粋を示す。

##### 1) アンケート回答者の年齢性別分布

アンケート回答者の年齢と性別分布を国勢調査の結果と比較した者である。ヒヤリング調査では50才以上の特に女性の回答者が多くなり50才以下の特に男性の回答者が少なくなる傾向に有り、ポスティング調査でもその偏りの程度は緩和されるが傾向は同じである。そのため、重み付け集計を行って、年齢と性別分布を国勢調査データと近似させる補正を行った。

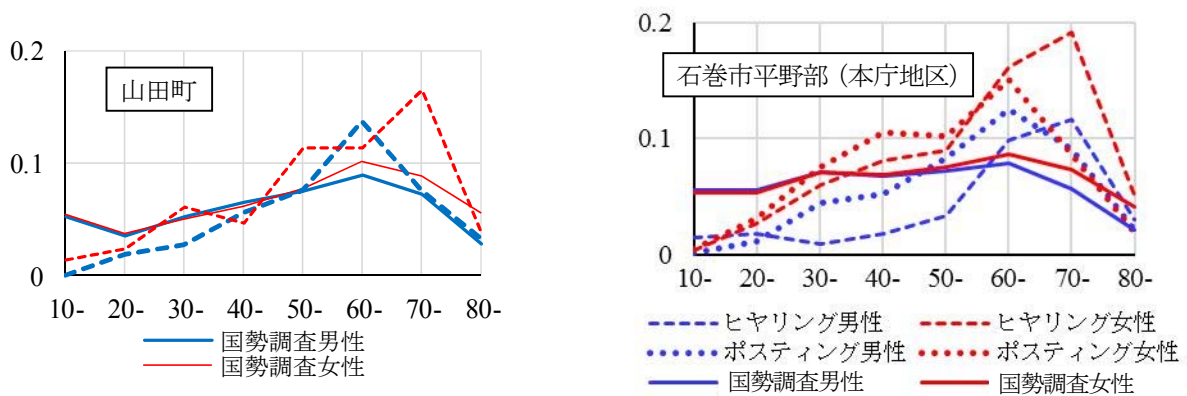


図 2.2.1 アンケート回答者の年齢性別分布と国勢調査結果との比較

##### 2) アンケート方法の違いの影響

石巻市平野部（本庁地区）では調査員が仮設住宅を戸別訪問して在宅者に質問し回答を聞き出すヒヤリング調査と、仮設住宅に質問書と回答用紙を配布し回答を郵送してもらうポスティング調査を行なった。

同じ石巻市の平野部であるので仮設住宅によって居住者の特性に大きな違いは無いが、ポスティング調査の回答者は質問書を読み回答を自筆し投函することからヒヤリング調査の回答者に比べ能動的な人が多くなるので、調査結果を見比べていく場合に留意しておく必要がある。また、図 2.2.2 に示すように回答の選択枝が3 択以上の場合、ヒヤリング調査では調査員が回答者の言っていることを聞いて両端に判断する傾向があり、ポスティングでは回答者が自筆するため中間的な回答が選ぶ傾向があることにも留意が必要である。

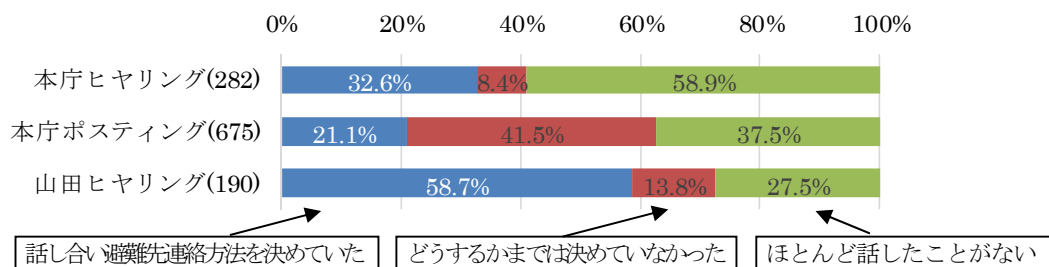


図 2.2.2 3.11 大津波発生以前に家族内で津波発生時の対処を話し合っていた割合の比較



### 3) 代表的な分析結果

#### a)地震時に何処にいたか (図 2.2.3)

石巻市本庁地区でおよそ 49%、山田町で 57%が在宅していた。地震発生後津波が来るまでに帰宅した人を加えると本庁地区で 68%、山田町で 75%が在宅したことになる。なお、結果の数値は年齢と性別の偏りを補正した値で有り、以下の図表も同様である。

#### b)地震直後に津波が来ると思ったか (図 2.2.4)

リアス地区の山田町の住民は石巻市の本庁地区の人達より津波に対する警戒心が高いことが分かる。本庁地区のヒヤリングとポスティングで差が大きいのは調査員の質問に口頭で答える場合に比べて回答を自筆する場合の方が中庸な回答が選ばれやすいためであろう。

#### c)大津波警報を最初に知った情報源 (表 2.2.1)

防災行政無線に次いでラジオが上げられている。山田町の場合、家族・近所の人・町内会からが少ないことが注目される。

#### d)避難するまで、あるいは避難しなかった場合は津波に襲われるまで何をしていたか (表 2.2.2(a)と(b))

本庁地区では散らかった物を片付けていたが比較的多く、山田町では避難荷物をまとめたが比較的多い事から津波に対する警戒心の違いが伺える。一方、山田町では近所の人に声をかけたが少ないことと、海の様子を見に行っただけの人が多いため注目される。

#### e)避難を決断したきっかけ (表 2.2.3)

山田町では大きな揺れを感じてが多く自らの判断で行動した人が多い。

#### f)避難開始の時間 (図 2.2.5)

山田町の方が早く避難を始めている。

#### g)避難の際の移動手段 (表 2.2.4)

本庁地区では車による避難が半数を超えている。

#### h)津波ハザードマップを事前に見ていたか (図 2.2.6)

山田町の視認率が比較的高いが、それでも参考にしていたのは 24%に留まっている。

#### i)防災訓練への参加率 (図 2.2.7)

山田町は約 1/3 の人がほぼ毎年訓練に参加しており時々参加も含めると半数以上の人が参加していることになる。それに対し本庁地区は時々参加を含めても 20%程度である。さらに、その内容が問題で、石巻市本庁地区では津波避難を対象とする訓練は行われていなかったとする証言もあったとのことである。

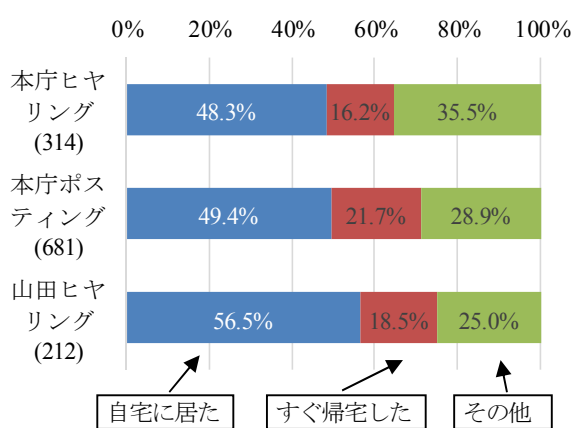


図 2.2.3 地震発生時に居た場所と地震発生後外出先から帰宅した人の割合

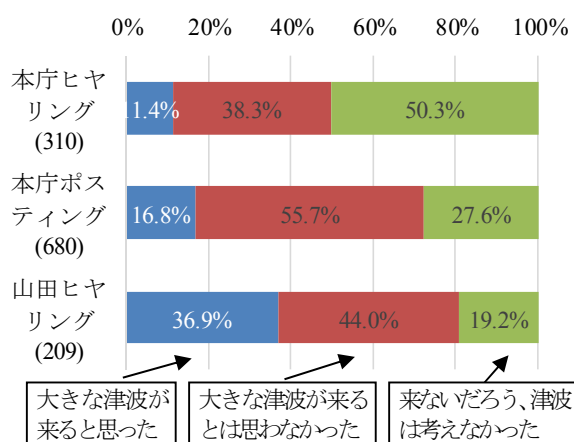


図 2.2.4 地震の揺れを感じて津波が来ると思ったか？

結果の数値はデータの年齢と性別の偏りを補正した値である。( )内はデータ数

表2.2.1 合同調査（山田・石巻）：最初に大津波警報を収受した情報源

	防災行政無線（屋外・室内）	テレビ（ワンセグを含む）	ラジオ	家族・近所の人・町内会	行政機関・警察・消防	その他	サンプル数
本庁ヒヤリング	59.2%	6.3%	18.6%	12.4%	2.7%	0.7%	183
本庁ポスティング	36.1%	6.8%	26.1%	23.2%	6%	1.9%	598
山田ヒヤリング	52.5%	9.4%	26.4%	6.9%	3.2%	1.7%	120

（データの年齢と性別の偏りを補正した値）

表2.2.2(a) 合同調査（山田・石巻）：避難するまで、あるいは津波に襲われるまで何をしていたか（複数回答）

	すぐ避難した	すぐ自宅に戻った	家族を迎えに行った	家族の帰りを待った	海の様子を見に行った	避難荷物をまとめた	戸締まりをした
本庁ヒヤリング	20.5%	16.2%	9.2%	-	1.0%	30.3%	11.4%
本庁ポスティング	24.3%	22.5%	18.8%	6.4%	2.1%	29.8%	-
山田ヒヤリング	21.7%	18.5%	6.5%	-	8.2%	40.4%	16.7%

（データの年齢と性別の偏りを補正した値）

表2.2.2(b) 合同調査（山田・石巻）：避難するまで、あるいは津波に襲われるまで何をしていたか（複数回答）

	散らかったものを片付けた	電話やメールをしていた	様子見たり近所と話したり	近所の人に声をかけた	要介護者の避難手助け	職場で避難の準備	サンプル数
本庁ヒヤリング	21.1%	6.3%	-	11.9%	6.1%	-	258
本庁ポスティング	18.1%	22.9%	19.2%	16.8%	5.3%	5.9%	598
山田ヒヤリング	8.9%	5.3%	-	2.3%	6.4%	-	188

（データの年齢と性別の偏りを補正した値）

表2.2.3 合同調査（山田・石巻）：避難した最も大きなきっかけは何か？

	大きな揺れ	防災無線やラジオの呼びかけ	家族や近所の人に促されて	周囲の人が避難したので	津波が来るのを見た、聞いた	勤務先の指示、誘導	サンプル数
本庁ヒヤリング	27.6%	23.2%	22.5%	5.2%	8.2%	8.2%	249
本庁ポスティング	28.4%	25.8%	15.2%	6.9%	11.2%	6.8%	508
山田ヒヤリング	52.6%	11.2%	12.9%	4.1	14.1%	1.4%	183

（データの年齢と性別の偏りを補正した値）

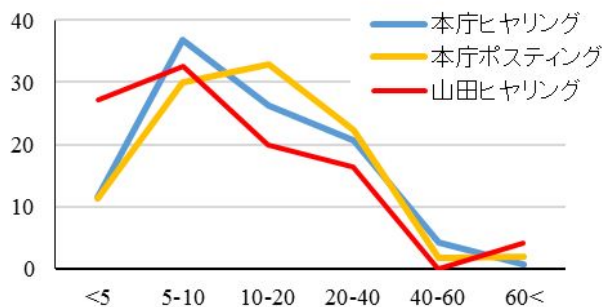


図2.2.5 合同調査（山田・石巻）：避難開始時間

表 2.2.4 合同調査（山田・石巻）：避難の手段

	徒歩	自転車	バイク	車	その他	サンプル数
本庁ヒヤリング	41.3%	5.9%	0%	52.6%	0.2%	270
本庁ポスティング	37.8%	4.0%	0.1%	58.1%	—	534
山田ヒヤリング	53.4%	2.1%	0.5%	40.0%	4.1%	200

(データの年齢と性別の偏りを補正した値)

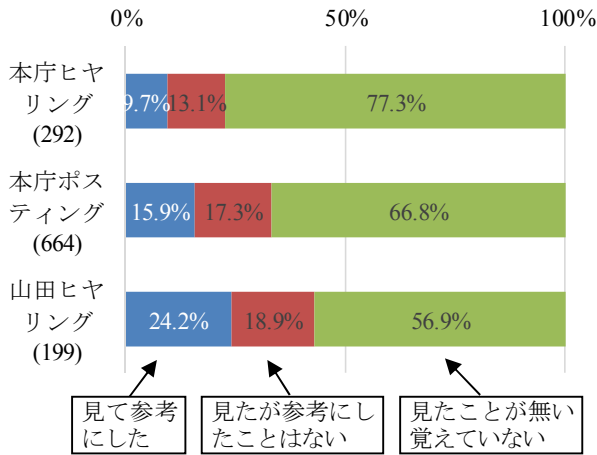


図 2.2.6 合同調査（山田・石巻）：3月11日以前に津波ハザードマップを見たことがあるか？

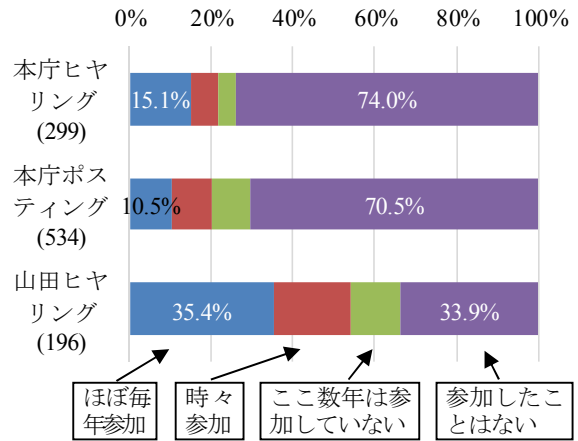


図 2.2.7 合同調査（山田・石巻）：地域の防災訓練に参加したことがあるか？

#### 4) まとめ

- ①データの年齢と性別の分布を国勢調査の分布に相似させる重み付けを行って集計する補正を行う方法はヒヤリング調査とポスティング調査の差を小さくする上で有効である。一方、回答の選択枝が2択でなく3択、4択の場合に、ヒヤリングでは両端の回答が選ばれポスティングでは中間の回答が選ばれる傾向が見られ、年齢と性別の補正では縮小しない。3択、4択の場合、ヒヤリングでは質問者が回答者の話を白黒明確に判断して両端の回答を選ぶ傾向があるのに対し、ポスティングでは回答者が落ち着いて記入するので熟慮して中間的な回答を選ぶ傾向があると推定される。
- ②地震発生から避難するまで、あるいは津波が襲来するまでに自宅にいた人は出先から戻った人も含めるとリアス部（山田町）で75-85%、平野部（石巻市本庁地区）で65-75%となる（亡くなられた方についての推定値も含む）。自宅に戻る傾向もリアス部の方が多いが、職住接近の他、高齢化が進んで要援護の家族が自宅に居る場合が多いことも考えられる。
- ③地震が起きてから避難を開始するまでの所用時間を分析する際に、出先から自宅に戻る、家族を迎えに行く、家族の帰りを待つなどの用事後避難と津波が迫ってから避難する切迫避難を除く前処理をすると、リアス部（山田町）で5-10分、平野部（石巻市本庁地区）で10-20分が最も多い回答となる。避難すると決めてからの所要時間に大きな違いは無いはずであるが、津波に対する危機意識の違いにより、避難決断までに要する時間、事前の備え、細かな所用の切り捨て度合いなどが違ってくるのであろう。
- ④住民の津波避難に関して公開されている調査データやその結果を利用する場合、適用されている調査方法の特性を知った上で目的とする事項の分析に活用することが望まれる。調査結果を公開する側には、調査方法の具体的な内容と一つ一つの調査データの年齢・性別・職業・地域などの特性値を併せて示すことが望まれる。

## (2) 東日本大震災における石巻市内での避難行動 —移動パターン・移動距離からの分析—

土木学会論文集A 1 (構造・地震工学), Vol. 69, No.4, 2013 に投稿された論文である。著者は、柳原純夫、村上ひとみ である。以下にその抜粋を示す。

### 1) 分析方法

東日本大震災津波避難合同調査団 (山田町・石巻市担当チーム) が石巻市で実施したポスティング調査のなかで「避難を始めてから最初の避難先に着くまで (または津波に巻き込まれるまで) の経路とおよその所要時間をお書きください」との問いに文書回答された結果を基に、次の定義によって移動距離と移動手段が分析された。

- ①安全に避難できたケースでは、職場、自宅、避難所など各人が出発、経由、到達した地点をアンケートの記述をもとに地図上にプロットし各拠点間の直線距離を計測しこれらを合計する。
- ②移動途中で遡上してきた津波に追いつかれたり巻き込まれたりしたケースは、その地点までの距離を計測する。
- ③移動手段としては「徒歩で避難」、「自動車で避難」、「自転車で避難」に分類した。自動車で避難した後に歩いて避難するなど移動手段が複数の場合は、移動距離の長い移動手段に分類した。なお、「歩いて避難」とするケースには、地震後数時間経過してから歩いて避難所に行ったものや同一建物の上階に歩いて避難したケースは含まない。

ポスティングによる調査の回答数は 797 件であるが石巻市平野部の移動で避難パターンと移動距離が明確になったのは 585 件であった。

### 2) 避難手段別の移動距離

移動手段別の最大、最小、平均移動距離が表 2.2.5 である。図 2.2.8 が徒歩と自動車の移動距離の累積割合である。徒歩は 1000m 以内の移動が約 90% (図中点 A)、500m 以内の移動 (点 B) が約 70% を占める。近くの避難場所や高台に移動したケースが多いことがわかる。これに対し自動車で避難したケースは徒歩避難と比べ長距離移動とはなっているが、1000m 以下 (点 C) のケースが 40% を占め、短距離を移動したケースも相当数ある。自動車を運転して比較的近傍の避難場所に移動したケースが多かったことがわかる。

表 2.2.5 移動手段別の最大、最小、平均移動距離

手段	平均移動距離 (m)	最大移動距離 (m)	最小移動距離 (m)
徒歩	474	2100	20
自動車	2285	14000	10
自転車	1923	4400	80

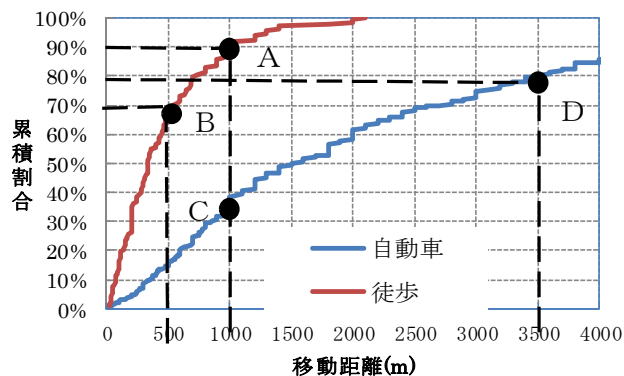


図 2.2.8 徒歩と自動車の移動距離の累積割合

### 3) 避難者の出発地域と到達地域

石巻市平野部は図 2.2.9 に示すように海岸沿い東西 10 数 km にわたって広がっており、職域・住域が分散している。海岸線から離れる南北方向をみると、ほとどの地点からも 1km 以内には避難場所 (避難所、高台) が存在する。地震発生が 15:00 近くであり住民の避難開始は自宅からと職場など外出先からに分かれる。

ここでは石巻市平野部を図 2.2.9 に示す 9 地域に分割し、585 回答の出発地域と到達地域の内訳を移動手段別 (徒歩、自動車) に「地域内の移動」、「隣接地域への移動」、「河川を横断しての移動」、「本庁地区外への

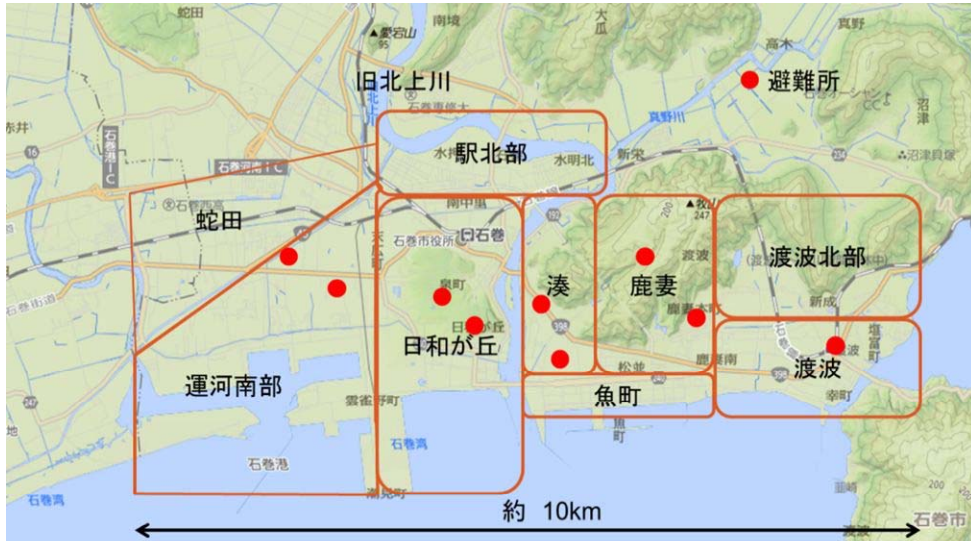


図 2.2.9 石巻本庁地区と地域分割

移動」の4パターンに分類した。

図 2.2.10 は全数、徒歩移動、自動車移動それぞれについて上記4パターンの割合を示したものである。

全回答 (左図) のうち 67%が地域内移動となっている。隣接地域移動も 23%あり両者併せて 90%となる。旧北上川を挟んで東西それぞれの地域内で移動したケースが 90%となっている。河川を横断しての移動は全体の 5%である。

徒歩移動 (中央図) では地域内移動が 87%を占め、河川横断や本庁外移動は 0%である。自動車避難 (右図) では地域内移動が 45%、徒歩移動と比較すると隣接地域移動が 36%と増加している。これは自動車を活用して隣接区域の高台へ移動したケースが多かったことを示している。旧北上川より東側地域では牧山、西側地域では日和山へ避難している。徒歩移動では近傍の避難所へ、自動車移動では近傍の避難所とやや遠くても高台に行くケースがあることを示している。自動車避難の方が避難場所の選択肢が多様になることを示している。自動車避難の 10%は河川を横断しての移動となっている。旧北上川を横断して石巻市本庁地区の東西を連絡する橋梁は南側から「日和大橋」、「内海橋」、「石巻大橋」の 3 本に限定され、地震時の急激な交通量の増加は国道渋滞の要因と考えられ正確な車両発生台数の特定に基づく検証が必要である。

図 2.2.11 は避難パターンごとの件数と「誰と避難したか」の設問 (多項目選択) に対する回答割合を示したものである。地域内移動をみると、自分ひとりで避難したケースは 7%にすぎず家族といっしょに逃げたケースが 72%と大半を占める。平常時における自動車利用率の高いことに加え避難者が高齢で家族による一体的移動をせざるを得ないことが地域内の比較的短距離の移動においても自動車が多く使用されたことの大きな要因となっていると考えられる。

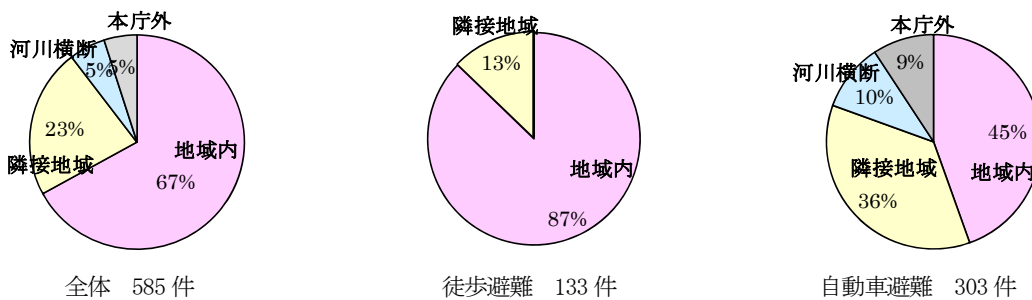


図 2.2.10 避難パターン別移動件数

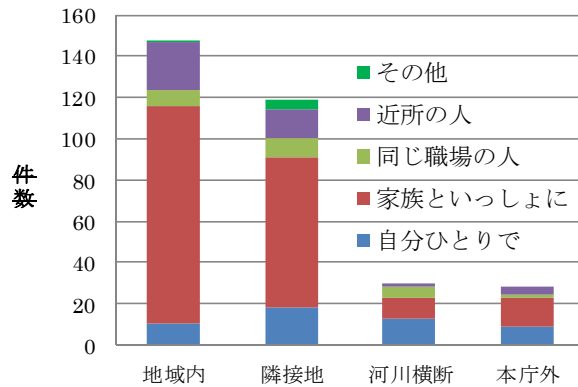


図 2.2.11 避難パターン別移動における件数と同行者内訳 (自動車避難)

#### 4) 外出先から自宅を経由する避難

図 2.2.12 に徒歩避難、自動車避難について「自宅から直接避難場所へ移動したケース」、「外出先から自宅に戻ってから避難場所へ移動したケース」、「外出先から直接避難場所へ移動したケース」の件数を示した。

徒歩避難では外出先から自宅に戻ったケースは全 133 件中わずか 5 件である。これに対し自動車避難では外出先から自宅に戻ったケースは全 303 件中 78 件 (25%) となっている。自宅に戻ったのは殆どが自動車避難であることがわかる。

図 2.2.13 は各回答者が避難拠点間に要した時間の記述から、避難開始時間、帰路における実家・親戚宅へ等への立寄り時間、帰路における実走行時間、自宅での滞在時間、避難路における実家・親戚宅へ等への立寄り時間、避難路における実走行時間を抽出し、それぞれの平均値を移動距離別に示したものである。全平均値をみると全避難行程で 36.4 分を要し、帰路走行に 14.5 分、避難路走行に 6.3 分を要している。3000m 以上の移動では全避難行程に 39.8 分を要している。

帰路走行時間、避難路走行時間をみると移動距離にかかわらず帰路の割合が大きくなっている。

1000m 未満移動では自宅滞在時間、帰路立寄り時間が他の移動距離範囲より長くなっており移動距離が短いにもかかわらず全避難行程に要する時間が長くなる要因となっている。

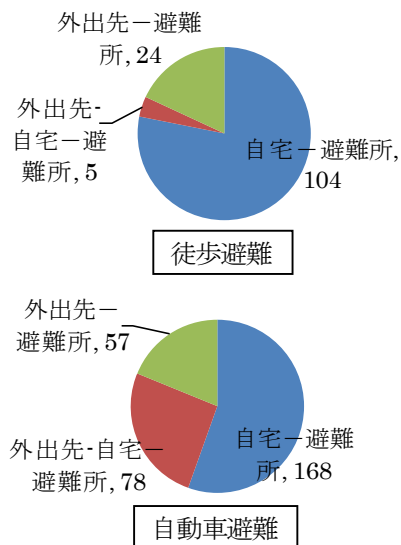


図 2.2.12 避難経路別件数

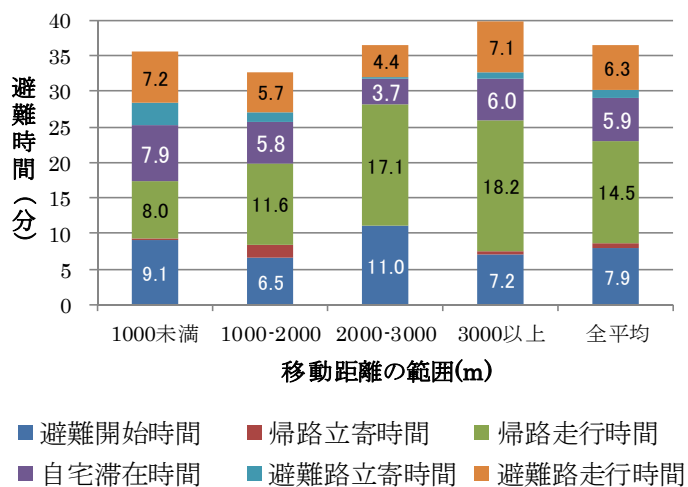


図 2.2.13 自宅経由避難者の移動時間内訳 (自動車避難)

### 5) 渋滞に巻き込まれた自動車の割合

自動車で移動したケースで「渋滞に巻き込まれた」と回答した件数を移動距離別に整理したものを図 2.2.14 に示す（自動車で避難した全 303 件で渋滞に巻き込まれたケースは 115 件（38%）である）。渋滞に巻き込まれた割合は移動距離の長短に関わらず 30～50%である。県警聞き取り状況調査によると、市内を東西に横断する国道 398 号が全面的に渋滞していたとの目撃証言が得られており、広範囲にわたる渋滞が発生していたことが反映されていると考えられる。

### 6) まとめ

- ①移動手段では自動車避難が半数を占める。
- ②平均移動距離は徒歩が 474m、自動車が 2285m、自転車が 1923m である。
- ③徒歩による移動距離は 90%が 1000m 以下であり、自動車による避難は 40%が 1000m 以下である。
- ④全避難ケースのうち地域内、隣接地域内への移動が 90%を占める。地域内移動でも自動車避難が多く、平均移動距離約 1000m であり徒歩でも避難できたケースが多い。
- ⑤上記は平常時における自動車利用率の高いことに加え避難者が高齢で家族による一体的移動をせざるを得ないことが要因となっている。
- ⑥自動車避難の 10%は運河を横断しての移動である。
- ⑦自動車による避難では外出先から自宅を経由し避難場所へ移動したケースが 25%を占める。またこのケースでは移動距離 3000m 以上が 45%を占める。
- ⑧自動車で自宅を経由することによる自動車走行による時間ロス は平均的に約 15 分である。
- ⑨渋滞に巻き込まれた自動車は自動車避難の 38%を占める。

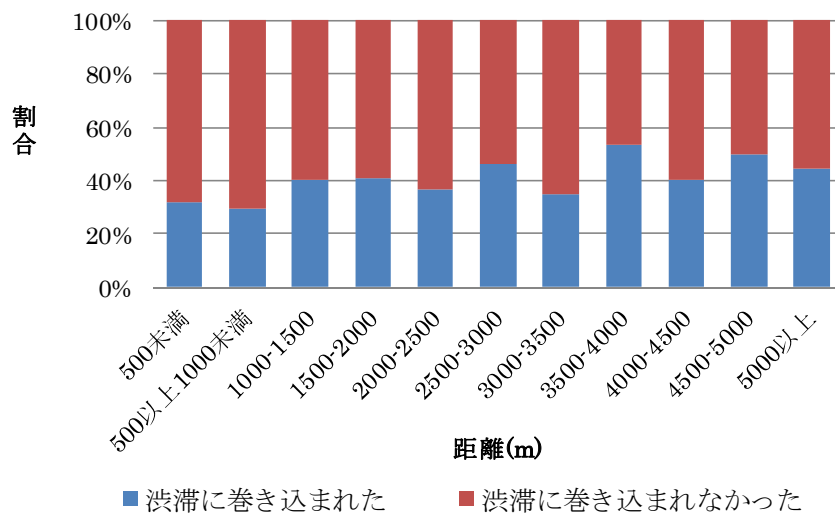


図 2.2.14 距離別渋滞遭遇率

### (3) 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A 1 (構造・地震工学), Vol. 70, No.4, 2014 に投稿された論文である。著者は、三上卓 である。以下にその抜粋を示す。

#### 1) 調査方法

山田町では亡くなった方のリスト(住所のみ)を参照し、山田町大沢地区で自宅が被災しなかった方および商店を再開された方から、近隣で亡くなった方が地震発生以降で津波襲来までの間に「何処にいたか」、「何をしていたか」という情報をヒヤリング調査した。その中で、個人で大沢地区の亡くなった方に関する情報を収集されている方からも情報の提供をうけた。

石巻市では、以下の2方法で実施した。一つは、山田町の場合と同様で、亡くなった方のリスト(生年月日、性別、住所)を参照し、亡くなった方の近隣に住んでおられた方から情報をヒヤリングした。他の一つは、東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)が実施したポスティング調査で近隣や知人で亡くなった方の情報を提供するよう呼びかけており、そこに記載された情報を収集した。

山田町大沢地区でのヒヤリング調査では、74名に関する情報を得た。これらは地元の人が家族ぐるみのネットワークで収集した情報であり信頼性は高い。石巻市でのヒヤリング調査では、266人について信頼性が高いと判断される情報が得られた。ポスティング調査では、回収された797票の内の約400票に情報の記載があった。回答者の自己申告で情報の信頼性を3段階評価してもらっていたので、信頼性の最も低い段階の情報は棄却した。それでも1票に複数名の記載があって約600名の情報が得られた。これらの情報のほとんどは津波に襲われた時の様子ではなく、亡くなった人が地震発生から津波襲来までの間に「何処にいたか」、「何をしていたか」の情報で有るが、津波来襲直前の居場所や行動が津波により亡くなった要因と関連していると認識して分析している。

#### 2) 居場所および行動の情報が得られた犠牲者数

山田町(大沢地区)は74名、石巻市は816名の犠牲者に関する居場所および行動の情報が得られた。犠牲者数はそれぞれ、山田町(大沢地区)120名、石巻市3,478名(関連死除く)であることから判明率は、山田町(大沢地区)約61.7%、石巻市約23.4%となっている。石巻市の平野部の判明数は732名、リアス部は87名であり、判明率はそれぞれ29.1%および23.5%である(北上川の沿岸部は含まず)。

#### 3) 犠牲者の行動と居場所の細分化による分析

表2.2.6に犠牲者の行動と居場所を細分し、石巻市全域および石巻市平野部、石巻市リアス部、山田町(大沢地区)と比較したものを示す。

全体の傾向としては、「自宅にいた(逃げなかった)」が最も高い値を示している。特に石巻市では、約1/3がその傾向にあり、避難意識が希薄だったと推測される。

石巻市のリアス部で「体が不自由・付添」が他より多いのは高齢化がかなり進んでいるためと考えられる。さらに石巻市のリアス部では避難している途中が少ない一方で沖だしが多いが、漁民が多く漁船の沖だしに失敗したケースが多かったためと見られる。

一方、山田町(大沢地区)では防潮堤に上がって海を見ていたが多い。

#### 4) 自宅で犠牲になった人

図2.2.15は表2.2.6の細分類から「自宅にいた」と「自宅以外にいた」の2つに分けた図である。石巻市全体と山田町を比較すると、石巻市の方が避難しなかった人が多かった。

#### 5) 避難途中で亡くなった人

表2.2.6に示したように、「避難途中」で犠牲になった方は、石巻市平野部で約23%、山田町で22%であった。図2.2.16は石巻市の避難途中で犠牲になった方の避難手段が車であるか徒歩であるかを示した。男女併せると50%の人が自動車避難で亡くなっている(不明を除くと60%)。また徒歩避難者では男性より女性の方が突出して多いことが注目される。表2.2.7は石巻市の徒歩避難の犠牲者の年齢・性別分布である。高齢の女性の犠牲者が多く、徒歩避難の犠牲者の約56%は60歳以上の女性である。石巻市の65歳以上の高齢単身者の73%が女性で有り、宮城県警のデータでは65歳以上の女性の運転免許保有率は男性の1/3～1/2.5程度である事から、歩行能力が低下している高齢の女性が一人で歩いて逃げないかばならない状況になり、犠牲になる割合が高まったのでないかと考えられる。



山田町においては、避難途中で犠牲となった方の約73%が車避難であった。高台が近く徒歩避難が容易な地形であるが、高齢者の家族を同乗させたり、保育園等へ迎えに行ったりしたことによる犠牲と分かった。

### 6) まとめ

- ①津波犠牲者の山田町で約50%、石巻市で約66%が「自宅にいた」もしくは「自宅に戻った(立ち寄った)」であった。
- ②「自宅にいた」犠牲者は、逃げる意思がなかったと推定される人と体が不自由で避難できなかった人あるいはその付添の人が主であった。
- ③「徒歩避難」の犠牲者は女性が多く、特に、高齢者の女性が半数以上を占めている。
- ④石巻市と山田町の犠牲者発生傾向は異なった結果となった。山田町では自宅にいた割合が石巻市より約17%少なく、特に「逃げなかった」および「身体が不自由」という理由が少なかった。その一方で、海の様子を見に行っただ割合が高かった。

表 2.2.6 犠牲者の居場所および行動

	石巻市			山田町
	全体	平野部	リアス部	大沢地区
自宅にいた(逃げなかった)	33.1%	34.1%	30.1%	22.4%
自宅にいた(迎えを待っていた)	5.4%	6.1%	1.2%	0.0%
一度避難したが戻ってきた	5.4%	5.4%	7.2%	11.9%
別の場所にいたが戻ってきた	5.3%	5.5%	4.8%	3.0%
自宅にいた(体が不自由・付添)	15.7%	15.0%	22.9%	9.0%
逃げる準備中	0.4%	0.4%	0.0%	1.5%
自宅内で避難	0.9%	1.0%	0.0%	1.5%
避難している途中	22.2%	22.9%	10.8%	22.4%
別の場所にいた	2.5%	2.1%	4.8%	4.5%
避難誘導や呼びかけ	0.6%	0.3%	3.6%	0.0%
人を助けようとして	1.5%	1.3%	1.2%	0.0%
迎えに行っただ	2.0%	1.6%	1.2%	0.0%
避難先で被災(津波)	1.7%	1.4%	1.2%	0.0%
移動中(避難場所でない)	1.6%	1.8%	0.0%	0.0%
沖だし	0.9%	0.1%	7.2%	1.5%
海の様子を見に行っただ	0.6%	0.3%	3.6%	13.4%
別の場所(病院)	0.1%	0.1%	0.0%	9.0%
助けられた後、亡くなった	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%

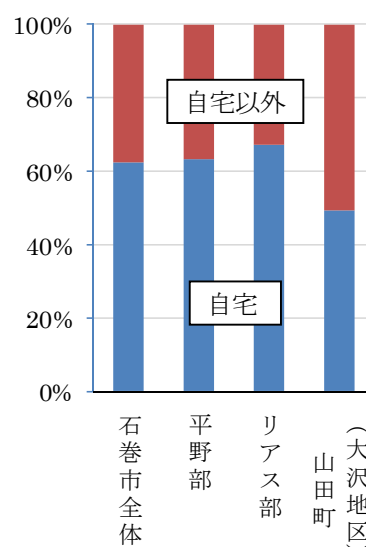


図 2.2.15 犠牲者が「自宅にいた」割合

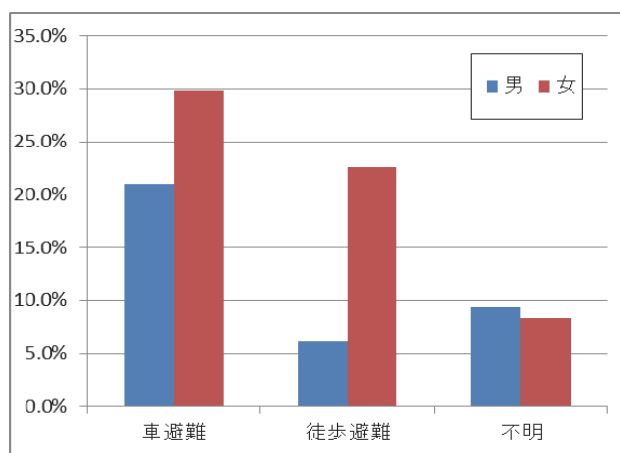


図 2.2.16 避難途中の犠牲者の避難手段(石巻市)

表 2.2.7 徒歩避難犠牲者の年齢・性別分布(山田町)

年齢	合計	男	女
10代未満	5.8%	0.0%	5.8%
10代	3.8%	1.9%	1.9%
20代	1.9%	0.0%	1.9%
30代	3.8%	1.9%	1.9%
40代	5.8%	1.9%	3.8%
50代	7.7%	0.0%	7.7%
60代	13.5%	0.0%	13.5%
70代	36.5%	5.8%	30.8%
80代	21.2%	9.6%	11.5%
90代	0.0%	0.0%	0.0%
100才以上	0.0%	0.0%	0.0%
合計	100.0%	21.2%	78.8%

#### (4) 東日本大震災津波避難における帰宅行動と立ち寄り行動の影響

2015年日本地震工学年次学術講演会予稿集の論文である。著者は後藤洋三である。以下にその抜粋を示す。

##### 1) 分析の目的と方法の概要

東日本大震災で津波避難した人達の中で、津波来襲までに帰宅した人や避難途中で立ち寄りした人が単純合計で約30%居た。そこで国土交通省都市局・東京大学空間情報科学研究センターで取りまとめられた生存者への聞き取り調査データ(復興支援調査アーカイブ)を用い、リアス部と平野部、徒歩避難と自動車避難に区分して帰宅と立ち寄りの目的と行動を分析した。

対象の地域は岩手県宮古市から宮城県石巻市の間のリアス部の市町10カ所と石巻市から宮城県山元町の間の平野部の市町10カ所(石巻市はリアス部と平野部に分割、仙台市は宮城野区と若林区に分割)とし、それぞれリアス部、平野部にくくって分析した。また、避難しなければ命を失う可能性が高かった場合を対象とするため自宅が全壊した人の行動を分析の対象とした。生存者のデータであるため亡くなった人の行動の特徴は分析できないが、自宅全壊域から避難した住民の中で亡くなった方の割合は3~4%と試算されることから、住民の避難行動の全体的な特徴の分析は可能と考えられる。

##### 2) 地震発生後津波来襲までに帰宅した人と自宅から避難した人が途中立ち寄りを行った割合

表2.2.8は自宅が全壊した人達の中で地震時に自宅に居た人と地震後津波が来るまでの間に一旦帰宅した人の割合で、一旦帰宅した人はリアス部で21%、平野部で23%あり、この一旦帰宅も含めるとおよそ2/3の人が地震発生から津波来襲までの間に一時的にでも自宅にいたことになる。

表2.2.9は自宅にいたか一旦帰宅した人の中で避難場所に直行した人と避難の途中で立ち寄りした人の割合を示す。避難した人が立ち寄りをした人も含めてリアス部で82.4%、平野部で71.8%であり、避難した人を母数とする避難した人の中で立ち寄りをした人はリアス部が13%、平野部が16%であった。

表2.2.8 自宅に居た人と一旦帰宅した人の割合

	自宅が全壊した住民の中で		
	地震時に自宅にいた	地震後に一旦帰宅した	サンプル数
リアス部	49.6%	20.5%	3,225人
平野部	41.0%	22.8%	2,121人

表2.2.9 直行避難した人と立ち寄りした人の割合

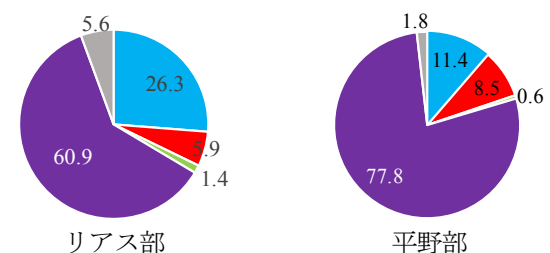
	自宅にいたか一旦帰宅した人の中で		
	避難場所に直行した	避難中に立ち寄りした	サンプル数
リアス部	71.5%	10.9%	2,429人
平野部	60.2%	11.6%	1,635人

##### 3) 帰宅した理由と交通手段

表2.2.10は帰宅した人の帰宅理由である。リアス部、平野部共におよそ半数の人が家族・親戚・知人の安否、迎えを挙げており、地震の揺れによる被害状況の確認や避難の準備のためが約30%であった。そして、帰宅には図2.2.17に示すように自動車が多用されており平野部では78%に達している。

表2.2.10 一旦帰宅した理由

リアス部	家族・親戚・知人の安否、迎え	50.4%
	被害状況確認、避難準備	29.9%
	避難呼びかけ、救助	0.4%
	サンプル数	561人
平野部	家族・親戚・知人の安否、迎え	48.4%
	被害状況確認、避難準備	30.0%
	避難呼びかけ、救助	0.9%
	サンプル数	163人



外出先より自宅に帰宅した人で、津波が火災で自宅が全壊した生存者を対象に集計  
( )内はデータ数、図中の数値は%。

図2.2.17 外出先から帰宅する際の移動手段

#### 4) 立ち寄りした理由と交通手段

表 2.2.11 は徒歩避難と自動車避難の場合に分けて立ち寄りの理由を示している。立ち寄りを行った理由は、家族などの身近な人の安否、迎えが最も多く、自動車避難の場合にその傾向が高くなる。自動車の使用率割合を「自動車使用／徒歩」で見た場合、立ち寄りを含む自宅から避難した全ての人の集計では 1.1 であるが、立ち寄りを行った人のみの場合は 1.4 となり、立ち寄りの場合も自動車が多用されている。

表 2.2.11 立ち寄りした理由

徒歩避難	家族・親戚・知人の安否、迎	35.3%
	被害状況確認、避難準備	22.9%
	避難呼びかけ、救助	15.7%
	サンプル数	116
自動車避難	家族・親戚・知人の安否、迎	59.9%
	被害状況確認、避難準備	17.1%
	避難呼びかけ、救助	7.8%
	サンプル数	163

#### 5) 避難開始時間と安全域到達までの時間

地震時に自宅に居た人と一旦帰宅した人が自宅から立ち寄りなしで避難場所に直行避難した場合について、避難開始までの時間と安全域到達までの時間を求め図 2.2.18 に示した。同図にはデータのバラツキを示すため、標準偏差 $\pm 1s$ も併せて示した。ここに、安全域到達までの時間とは津波浸水域から脱するまでの時間で、GIS 上で津波浸水域のデータと避難経路データを重ね、高台避難の場合は避難経路が浸水域と交差する避難経路上の距離データから比例配分で推算した。鉛直避難の場合は浸水域内で移動を止めた時間で、生存者のデータであるから鉛直避難場所に到達したと推定した。自宅内の鉛直避難は除いている。

自動車避難と徒歩避難を比較すると、平野部で一旦帰宅してから避難した場合を除き、徒歩避難より自動車避難の方が早いことが注目される。避難開始時間が早くなるのは渋滞を避けるため早く出発しようとする意思が働くためと、自動車を運転する人達の方が比較的若齢で行動力が高いためと推定される。平野部で自動車により一旦帰宅する場合は遠距離帰宅で出発時間が遅れ、その結果さらに渋滞の影響を受けて避難時間が延びたためと推定される。

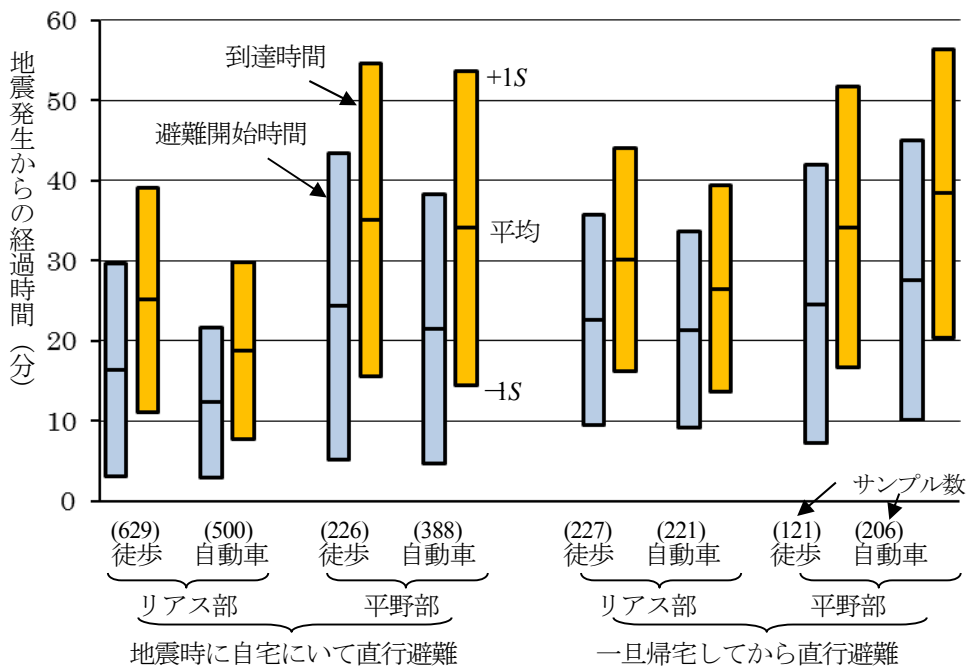


図 2.2.18 避難開始時間と安全域到達時間の平均値と±標準偏差  $s$

表 2.2.12 は移動に要した時間の標準偏差  $1s$  を平均値で割ることにより求めた変動係数である。平野部の徒歩避難の場合を除き自動車避難の方がバラツキはやや大きいことが分かる。平野部の徒歩の変動係数が小さくなるのは、高台までが遠距離の場合に比較的近場の鉛直避難場所が選ばれ結果として長時間避難が少なくなつてバラツキが減少するためと思われる。自動車避難と徒歩避難の変動係数の比で見ると、一旦帰宅の平野部においてその値が高くなり、避難の遅れに陥るリスクが高いことが分かる。

表 2.2.12 徒歩避難と自動車避難の移動時間の変動係数

	地域	移動方法	変動係数	変動係数の自動車/徒歩
自宅に居て避難	リアス部	徒歩	1.02	0.99
		自動車	1.01	
	平野部	徒歩	0.94	1.05
		自動車	0.99	
一旦帰宅してから避難	リアス部	徒歩	1.04	1.12
		自動車	1.11	
	平野部	徒歩	0.70	1.49
		自動車	1.04	

## 6) まとめ

- ①約 30%の人が帰宅や立ち寄りを行っており、それが避難の動線を複雑にして避難全体を混乱させた。
- ②帰宅後避難、立ち寄り後避難の場合、安全域到達に 32 分～53 分を要し、津波到達が早いと大変危険な状況となる。
- ③自動車避難は平野部の帰宅後避難の場合を除き徒歩避難より早く安全域に到達している。
- ④自動車避難の立ち寄り目的の約 60%は家族・親戚・知人の安否確認と迎えである。
- ⑤家族・親族が自宅に居たり学校・施設等に居たりすると帰宅や立ち寄りが行われ、その際に自動車が使われている。津波の到来が東日本大震災より早いと予想される地域では、時間を掛けてでも、住宅、学校、福祉施設などを高台に移し、街中からは自動車避難できる道づくりを進めていくべきである。

## (5) 石巻市門脇・南浜地区の事業所と住民の津波避難行動

土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.71(2015), No.4 2015 に投稿された論文である。著者は後藤洋三である。以下にその抜粋を示す。

### 1) 研究の目的と方法の概要

石巻市の門脇・南浜地区 (図 2.2.19) は様々な規模の事業所と住宅が混在した地域である。東日本大震災で大部分の事業所は集団避難し人的被害はなかったが、一方でこの地域の住民 4423 人の約 11%、487 人が亡くなった。事業所の集団避難と住民の避難の状況をヒヤリング結果から分析し、比較的に考察する。

### 2) 避難環境

東日本大震災で震度 6 弱の大きな揺れに見舞われたあと、約 56 分後に津波が来襲し約 60 分後に最大となって地域の大部分が 5～7m の浸水深に達した。地域内の木造家屋のほとんどは津波により流失したが、地震の揺れによる建物倒壊の証言はなく、液状化も部分的に生じていたが歩行や自動車走行の障害となる程ではなかった。ただし、震度 1 以上の余震が 60 分間で 24 回発生し絶え間なく揺れが感じられた状況であったと推察される。



図 2.2.19 宮城県石巻市南西部

石巻市は防災行政無線放送により、大津波警報発令と避難の呼びかけを津波来襲までに12回行った。気象庁は地震発生から28分後に宮城県に対する予想津波高さを6mから10m以上に引き上げたが、NHKラジオがこの引き上げ情報を放送したのは45分後（対象地域に津波来襲する約13分前）であった。一方、民放ラジオも含め、リアス部に大津波が到達していることがおよそ35分後（同約23分前）から報道され始め、ラジオを聞いていた人と携帯のワンセグを見ていた人には緊迫した状況が伝わった。

石巻市が2009年3月に全戸配布していたハザードマップでこの地域の大部分は津波の非浸水域とされており、避難場所は実際には浸水被害を被った門脇小学校とされていた。この地域の防災訓練で津波避難は取り上げていなかったとの証言もあった。

この地域の幹線である八間道路の西行きで地震のおよそ30分後から渋滞が発生していた。

### 3) 主要事業所（図2.2.20）の避難状況

- ・門脇小学校：地震後校庭で点呼した後、教員の判断で児童全員を直近の高台に速やかに避難させた。
- ・門脇保育園：園長の判断で避難を決断、園児20人と職員13名全員が2km先の高台の保育園に避難した。
- ・市立病院：自家発電が起動してテレビで情報を取り鉛直避難を決断、歩行困難な入院患者70～80名と近所の老人福祉施設から避難してきた人達を4階まで引き上げた。避難を手伝っていた患者1名が死亡。
- ・製紙工場：保安要員が防災無線放送やラジオから情報を取得しバッテリー駆動の校内放送で避難を指示、1307名が就業中であったが居残って鉛直避難した数名の保安要員を除いて全員が近接の高台に避難した。
- ・食品加工工場：約170名が就業していたが、ワンセグの情報で工場長は避難を決断、自主的に事務所の屋上に避難していた人を除く約120名を近隣の高台に避難させた。
- ・スーパーマーケット：客が退去した後、店長が従業員に帰宅か直近の高台への避難を指示、10～15名が集団で高台に避難した。
- ・小規模多機能型居宅介護施設：日頃から避難訓練が行き届いており、地震発生時に施設にいた老人47名、職員30名、周辺住民10名が車で素早く事前に取り決めていた高台の室内野球練習場に避難した。
- ・老人ホーム：入居者をマイクロバスに乗せ門脇小へ避難、校庭に着いたところで津波にのまれ入居者10数名全員が死亡した。マイクロバスに乗るのに時間が掛かったことと門脇小に向かったことが問題点。

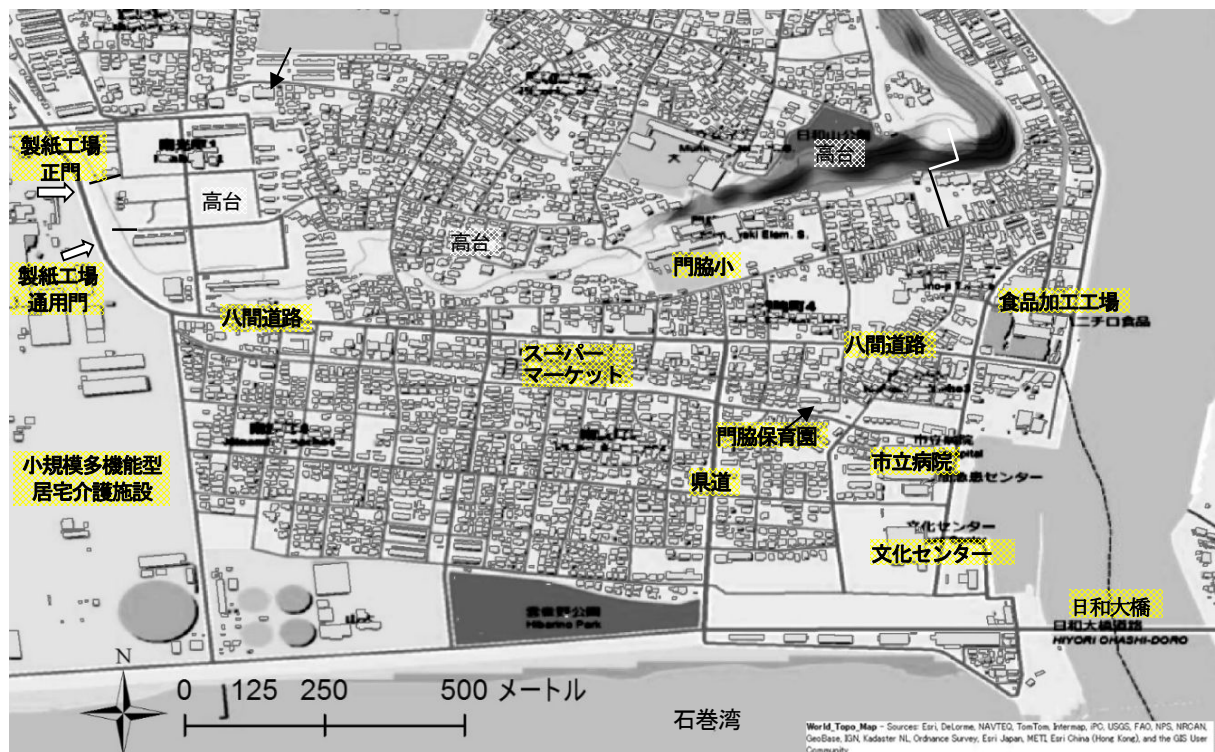


図2.2.20 門脇・南浜地区の主要な事業所と高台

#### 4) 住民の避難

この地域の住民数は 4,423 人、東日本大震災津波避難合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）の調査結果によると、その 69%（3,055 人：推算値、以下同じ）が地震発生時に在宅したか津波来襲までに一旦帰宅し、その内の 78%が避難し、22%（689 人）が避難しなかったとされている。

この地域では 487 の住人が亡くなっており、三上は(3)で紹介した論文で、そのおよそ 2/3（約 325 人）が自宅に留まっていた人であったと報告している。自宅に留まっていた人のおよそ半数が亡くなったことになる。また、三上は自宅で亡くなった人の 59%が逃げる意思がなかった、8%が一旦逃げたが戻った、8%が迎えを待っていた、24%は体が不自由かその付き添いだった、と推定している。一方、合同調査団が自宅に留まって生存した人達の留まった理由を調査した結果では、大きな津波は来ないと考えたが 60%、家族を探したり待ったりしていたが 7%、体が不自由かその付き添いをしていたが 10%であった。体が不自由であると亡くなる割合が高くなるので、亡くなった方と生存者の逃げなかった理由は大凡整合している。

合同調査団がこの地域の人達の避難先と避難方法を調査した結果を表 2.2.13 に示す。過半の人が高台を目指して避難したがこの地域で唯一の避難場所とされた小学校にも約 1/4 の人が逃げ込んだ。一旦逃げても津波が来るまでに帰った人もいるし小学校を経由して高台に上がった人もいたので、小学校に来た人はもっと多かったと考えられる。

表 2.2.13 住民の一時避難先と避難方法

	徒歩	自転車	自動車	計
高台	17	1	21	39
学校や病院など	8	1	8	17
その他	4	0	4	8
計	29	2	33	64

聞き取り調査によると、小学校の校庭は避難してきた車で一杯になった、避難場所として使われる計画だった体育館は揺れによる被害があつて使用できず、避難してきた人は学校脇の階段路から高台に上がるか、校庭にたむろするか、自動車の中で暖を取るか、自宅に帰るかした。女川に大きな津波が来た情報が伝わってからは高台に上がる人が増えたが、明確に指示する人がおらず、津波が来るまで校庭にたむろしていた 40 人は校舎の 3 階に駆け上がったが、校庭に駐車した自動車の中に居た人の多くが逃げ遅れて亡くなった。

#### 5) 考察とまとめ

- ①この地域の住民で亡くなった人の 2/3 は自宅に居て逃げなかった人であり、逃げなかった理由の半数は津波に対する警戒心の欠如であった。
- ②避難した住民の多くは高台（日和山）に向かったが、1/3～1/4（600～800 人）の住民はこの地域の一時避難場所とされていた門脇小学校に向かった。その多くは学校脇の階段道路から高台に上がったが、住民の間にリーダー的存在がおらず数十名の人が自宅に戻ってしまった。
- ③市のハザードマップでは門脇・南浜地区の大部分に津波浸水が想定されておらず、地区の防災訓練でも津波避難は取り上げられて来なかった。そのような状態が、22%の住民が避難せずに自宅に留まり、門脇小学校に避難してきてより安全な高台へ上がる機運が行き渡らなかった原因の一つであろう。さらに、リアス部で 5～6m の津波が来てもこの地域にはその半分以上しか来ないという負の経験知があった。
- ④それでも、女川に大きな津波が来襲している情報が伝わると高台に向かう人が増えた。リアルな津波情報がより早く確実に伝えられていれば自宅に留まる人や帰宅してしまう人は少なくなったと推測される。
- ⑤一方、この地域の事業所の多くは集団避難に成功していた。それらに共通していた点は
  - ・避難先を門脇小学校とせず、確実な避難場所である高台（日和山を含む）か自社建物の上層階としていた。
  - ・避難を判断する情報の入手に努めていた、あるいは情報を待たずに避難すると決めていた。
  - ・事業所の責任者が明瞭に避難を決断していた。
  - ・日頃から大きな揺れや警報が出れば避難するとされ、訓練や避難計画などの準備が行われていた。
- ⑥事業所の避難の成功例から、住民にも組織的な避難を徹底すれば人的被害は大幅に軽減できたと考えられる。しかし、事業所は体が動く人達の組織であるのに対し、住民には災害弱者が少なからず存在して、同じ避難行動は取れない。また、住居はそもそも組織的な束縛から離れた憩いの場であるはずである。この地域は地方都市のどこにでもあるような一般的な市街地だった。長期にわたる防災意識の高揚や共助の組織強化に頼る対応には限界がある。住まいのあり方にも遡った根源的な対策が必要と思われる。

## 2.3 南海トラフ地震津波の被災が予測される地域における避難対策ケーススタディ

### 2.3.1 検討概要

本部会のメンバーの多数は、東日本大震災津波避難合同調査団の活動の一環として、津波による大きな被害を受けた岩手県山田町、宮城県石巻市を中心に、被災者の津波来襲時の避難行動について詳細な聞き取り調査を行い、その特徴と課題を整理してきた（例えば 1）。我々は、甚大な被害を引き起こすと言われている南海トラフ地震津波の来襲が想定されている西日本の太平洋沿岸地域の住民にこそ、この成果を還元し、少しでも津波被害の軽減に寄与すべきであると考えている。そこで、このような地域の住民に聞き取り調査結果の概要や東日本大震災における津波からの避難行動の課題・問題点を説明するとともに、地域の現状と住民の立場で普段感じている津波防災に関する課題や問題点、今後の対応策について意見交換を行ったので、ここに報告する。

### 2.3.2 被災が予測される地域における意見交換会

#### (1) 意見交換会を実施した地域とその概況

意見交換会は、太平洋に面する高知県のある自治体の協力を得て実施した（以降、A町と称する）。A町はリアス状の海岸地形と中小河川により形成された狭い平地に町中心部が形成されている。人口1万人弱、平均年齢50歳以上と過疎化が進みつつあり、また主要産業が漁業及び観光であるため、海岸に近い町中心部のエリアに住宅が集中している。これらは合同調査団で聞き取り調査を行った岩手県山田町の地形形状、人口構成、主要産業とよく類似しており、A町を意見交換会の対象地域とした一つの決め手となった。

A町は古い街並みであり、全体的に道幅が狭く車での避難は実質困難であるとともに、地震による家屋倒壊等も想定され（写真2.3.1(a)）、さらに中心部から高台への避難路はその高低差が大きく、高齢者の避難が困難であろうことも推測される（写真2.3.1(b)）。また観光にも力を入れていることから大型連休等は観光客が多数訪問し、渋滞等も発生するようである。

内閣府中央防災会議や高知県の津波シミュレーション結果によると、南海トラフ巨大地震発生時、A町中心部には20～30分後に津波が到達し、最大浸水深は5～10m程度と想定されている。これを踏まえA町では地震・津波防災対策を推進してきており、特に公共施設の高台移転や津波避難タワーの建設等のハード整備や津波避難計画の見直しが進められている。



写真2.3.1 A町の街並み(a)と整備された津波避難階段(b)

#### (2) 開催状況

意見交換会は、平成25年12月の土曜日に実施した。当日朝、A町主催の津波避難訓練が実施され、その状況も見学することができたため、その訓練の状況も踏まえた意見交換を実施することができた。意見交換会の参加者は、住民28名（全員町の消防団員）とA町職員6名、さらに本部会メンバーら7名（表2.3.1）であり、

会場は町のご厚意により提供頂いた町民交流会館で実施した。

意見交換会は約二時間開催し、冒頭45分程度を割いて東日本大震災の津波避難行動調査結果の概要を説明した。説明内容は以下のとおりである。

- ・岩手県山田町消防団へのヒヤリング結果と消防団の避難支援効果について（後藤）
- ・山田町と石巻市の避難行動パターンと「津波てんでんこ」について（山本）
- ・犠牲になった方の津波来襲時の行動と課題について（三上）
- ・津波避難の移動手段と避難可能な範囲について（柳原）
- ・津波警報を一刻も早く伝えるための方策について（後藤）

その後、より有益な意見交換が可能ないように参加者を二組に分け、それぞれにファシリテーター（柳原氏、仲村氏）をおいた。今回の意見交換会の出席者は上述したように全員が消防団に所属しており、非常に防災意識の高い方々であったため、1時間以上活発な意見交換を行うことができた（写真2.3.2）。

表2.3.1 意見交換会 日本地震工学会側出席者一覧

氏名	所属	氏名	所属
後藤 洋三	東京大学	山本 一敏	パシフィックコンサルタンツ
仲村 成貴	日本大学	植本 琴美	高知工科大学
三上 卓	地震予知総合研究振興会	佐藤 誠一	日本工営
柳原 純夫	奥村組	(以上7名, 所属は当時)	



写真2.3.2 意見交換会開催状況

### (3) 意見の集約

#### (a) 意見の整理結果とその結果から見える課題

参加者から出た様々な意見を、津波災害発生時における時系列に沿って「避難開始時」（避難のきっかけ）、「避難行動」、「避難生活」に分類した。さらに当日の避難訓練に関する意見も多かったため、「避難訓練」も含めた4つのカテゴリに分け、様々な意見を集約・整理した。整理結果を表2.3.2に示す。

##### 1) 避難訓練

避難訓練参加者数は400名程度とそれほど多いものではなかった。参加者の内訳は比較的若い世代が多く、高台への避難が困難な高齢者の参加は少なかった。避難開始から約10分程度で参加者全員の避難が終了したが、訓練開始時刻を待ち構えていた参加者も多く、避難終了に要した時間は参考にならないとのことであった。したがって「避難訓練」に関して、地域全体として防災意識の醸成が必要であり、実際に逃げなければならぬ方々を対象として参加者を増やしていく必要があること、いつ来るかわからない津波が発生した場合には10分ではとても逃げられないためより実践的な避難訓練が求められることなどの意見が出た。

##### 2) 避難開始時



A町は近年大きな地震・津波を経験していない。東日本大震災の際に津波警報が発令されているが、地震の大きな揺れはなかったため、家屋被害や家具転倒による避難行動への支障は生じていない。大きな揺れの直後に津波が来襲した経験は、昭和南海地震まで遡らなければならない上に、昭和南海地震ではA町は大きな被害を受けていない。さらに、津波による大きな被害は安政南海地震まで遡る必要があるが、その際の浸水範囲は、南海トラフ巨大地震で想定されるものより大幅に少ないと認識されている。このような過去の経験・言い伝えが「避難開始」のきっかけを失わせるのではないか、あるいは地震直後に起こりうる状況の中で適切に行動できるのか、という危惧を抱かせる意見も少なからず得られた。

### 3) 避難行動

この項目では、A町の課題を踏まえた様々な意見・コメントが得られた。まず、中心部の道路が狭いこと、高台方向に直接向かうことが可能な道路がないこと、などから自動車による避難は不可能であり徒歩避難主体であることは、参加者大多数の意見であった(代替案として自転車やバイクの利用を挙げる意見もあった)。また、消防団は率先避難者として行動することが原則であり、助けられる人は助けながら避難し、水門閉鎖や要支援者の救助のための行動はとらないとのことであった。要支援者のリストは作成し、自主防災組織に配布する準備は行っているが、具体的に要支援者をどのように避難させるかについては課題として残っており、また避難路における要支援者に対するサポートをどのようにするか、避難路改修の必要性があるのではないかという意見もあった(H26夏時点で手摺整備、路面整備等避難路改修は着々と進められていることを確認した)。A町では高台への避難が困難な地域における避難場所として中心部海際に津波避難タワーの整備が進められている。参加者の津波避難タワーへの期待の高さは伺えたが、津波警報が発令された際に海に向かって避難行動を起こすことが可能か、意識の切り替えが必要であり、タワーを想定した避難訓練も必要であろう。またA町の主要産業の一つに観光であるため、観光客に対する避難誘導計画も求められているが、分かりやすい誘導看板の設置等は今後の検討課題としているとのことであった。

### 4) 避難生活

避難所として指定されている小学校及び中学校は高台にあり、津波発生時にはこれらの避難所で一時生活しなければならない。これらの避難所は高台にあるがため大雨時の山崩れ等、避難所として災害発生時に機能継続可能なのか、という指摘もあったことから、施設の安全性・信頼性を広報していくことも必要と考えられる。また、避難所の備蓄品が十分でないとの指摘もあったが、避難時の持出品として通帳・印鑑、位牌等を挙げる方が多かった。避難者の自己防衛が必要な部分を明確にするためにも、避難訓練時に避難生活を体験するなど、避難場所の設備や生活イメージを予め把握することが重要ではないかと考えられる。

上記より、A町における津波避難の課題は以下のようにまとめられる。

- ① 多数の市民が参加可能かつ実践的な避難訓練の実施が必要である
- ② 地震発生～津波避難開始までの避難行動に関わる状況が十分想像できていない
- ③ 要支援者(観光客等含)へのサポートをどのようにするかルール化が必要である
- ④ 津波避難タワーを想定した十分な避難訓練が必要である
- ⑤ 避難所の設備・生活イメージを共有する必要がある

表2.3.2 意見集約結果

避難訓練に関する主な意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>参加者がそれほど多くなく、市民レベルでの意識醸成が求められる。ただし東日本大震災以降、住民の防災意識が高まってきている。</li> <li>訓練開始時間が予め分かっていたので、避難終了時間が早かったのではないかと。過大評価は禁物である。今後は夜間や時間を定めない訓練が求められるのではないかと。</li> </ul>
避難開始（きっかけ）に関する主な意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>揺すられた後の津波警報を経験しておらず、具体的な避難開始の状況が想定できていない。</li> <li>昭和南海地震の記憶・記録がマイナスに作用する可能性が高い。</li> </ul>
避難行動に関する主な意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>車避難は困難であり、徒歩避難が原則という考え方が浸透している。</li> <li>要支援者に関するリストの作成・配布は計画されており、また状況は近所で把握しているが、具体的なサポートルールが明確でなく、サポート自体も習慣として根付いていない。</li> <li>高台の避難所への避難路に手すりがないところもある。高齢者や車椅子等、移動時間が遅い避難者がボトルネックとなり全体の避難時間が遅延する可能性がある。</li> <li>消防団は「率先避難者」である。避難のきっかけとしての役割は果たせると考えている。</li> <li>津波避難タワーの果たす役割への期待が大きい。</li> <li>観光客等の一時滞在者に対して有効な避難誘導看板の設置は未検討である。</li> </ul>
避難生活に関する主な意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難所の備蓄が少なく安全性も疑問。しかし、避難時に持ち出す荷物は最低限を考えている。</li> <li>高台への避難になるので車椅子を常備することにより要支援者の避難が楽になるのではないかと。</li> </ul>

#### (4) アンケート結果

意見交換会に先立ち、参加者に津波避難行動に関するアンケート調査票を配布し、記入頂いた。アンケートは全11の設問を設け、地震発生時に津波の来襲が想定されるなか、どのような避難行動を取るかを問うものであった。代表的な設問を表2.3.3に、この設問に対する回答を図2.3.1に示す。なお、有効回答数は14と少なく、また回答者は消防団員であるため、必ずしも住民意識を代表するものではないことに留意する必要がある。

問1では約8割が「自分の考え」で避難に関する意思決定を行う、との回答であった。消防団員の回答であるため、大きな揺れでは率先避難を行うということが浸透しているものと考えられるが、自分の考えで避難しない、という選択を取ることも実際にはありうるため、確実な避難情報の提供が必要である。

問4では約9割が10分以内に避難を開始する、と回答している。この結果が消防団員としての意識の高さの現れか、あるいは大地震直後の家屋や家具の被災状況を想定できていないか、のいずれであるかは分からないが、速やかに避難を開始するべきと考えていることは好意的に捉えることが可能である。

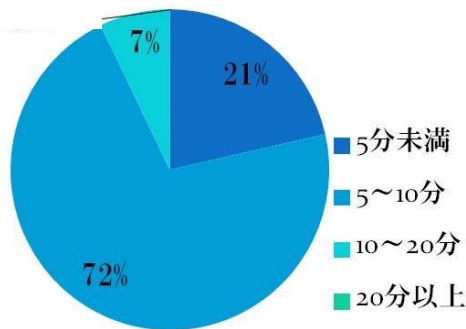
問8では立ち寄り先を複数回答として選択して頂いた。それぞれ3割程度の方が自宅あるいは学校・幼稚園・保育園を挙げており、身内の安全確保・安否確認が必要と考えていることが分かった。これは率先避難者としての避難行動とやや相反する面もあるが、身内の安否確認方法の構築や学校等教育機関の安全確保における信頼性向上を図ることにより解決していくのではないかと考えられる。

問11では全ての回答が徒歩避難を選択しており、意見交換会での結果と同様に町の現状を踏まえた徒歩避難の必要性が浸透していることが分かる。

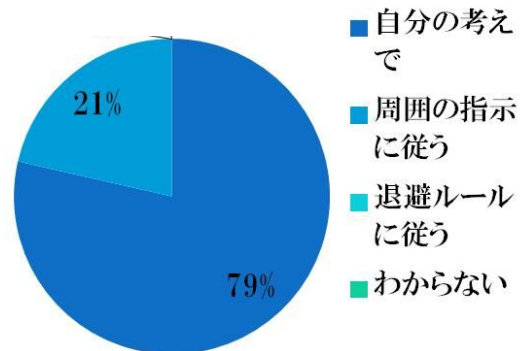
表2.3.3 アンケートの代表的な設問

問1	地震の揺れが収まってから自分が避難する、しないはどのようにして決めると思いますか
問4	地震の揺れが収まって避難を開始するまでに何分くらいかかると思いますか
問8	避難場所へ行く前に立ち寄りたいところはありますか
問11	何を使って避難しますか

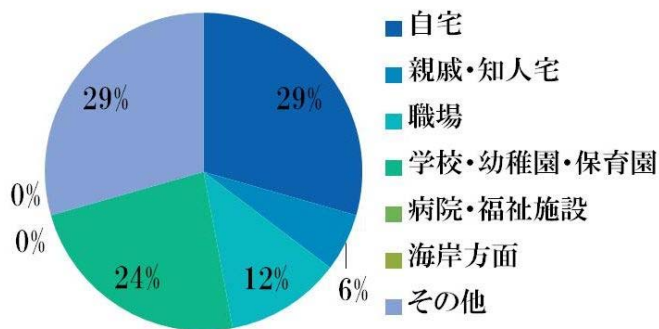
問1



問4



問8



問11

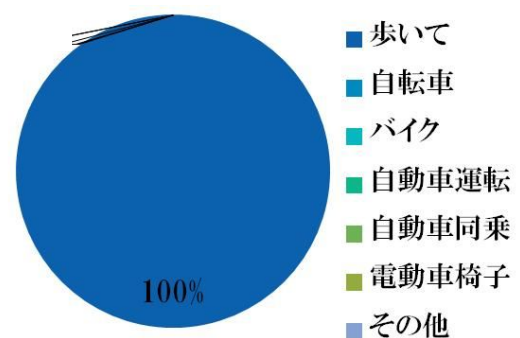


図2.3.1 アンケート結果

### 2.3.3 A町における津波避難の課題と対策

迫りくる南海トラフ巨大地震への対応として、意見交換会から得られた5つの課題それぞれについて早期の解決が求められている。これらの課題解決に向けた対策は様々あると考えられるが、その一例として考えられるものを以下に示す。

#### (1) 多数の市民が参加可能かつ実践的な避難訓練の実施

普段通りの生活をしている状況下あるいは夜間も含め、開始時間を特定せず幅を持たせて通知し避難訓練を実施することが有効と考えられる。開始時間が特定されないため参加者数が減少することも想定されるが、南海トラフ地震に対する危機意識を地道に醸成しカバーしていくことが重要であろう。

## (2) 地震発生～津波避難開始までの避難行動に関わる状況想定

想定される震度6強の後、速やかに避難を開始することは困難であるが、予め状況が想定されていれば速やかな行動を取ることが可能となる。予め状況を想定するには、震度6強がどのような揺れなのか起震車で体験する、家屋建物の動的シミュレーションにより脆弱性を把握する、有識者ととも町歩きを行い、建物倒壊や道路閉塞が想定される危険箇所の把握を行って迅速な避難行動に繋げる、などの対策が考えられる。

## (3) 要支援者（観光客等含）へのサポート

高齢者等、個人での避難行動が困難である要支援者に対するサポートは大きな課題が残されている問題である。A町では消防団員が率先避難者として整理されているため、高齢者等の要支援者の命を確実に救うためには高齢者住居の高台移転の推進が必要となる。また観光客には分かりやすい案内板の整備の推進が必要不可欠であり、また津波避難タワーの観光資源化による意識付けも考えられる。

## (4) 津波避難タワーを想定した十分な避難訓練

津波発生時は高台に向かって逃げるのが基本であり、そのために高台の避難所に向けて避難路が整備されてきている。避難が困難な地区の住民や観光客への選択肢として津波避難タワーが整備されてきているが、海に向かって逃げることはかなりの勇気とリスクを伴う行動である。地震発生から何分経過したら高台への避難が困難となりタワーに向かうべきなのか、あるいはそもそもタワーに逃げるべき地区はどこで住民は誰なのか、住民や避難を誘導する立場の方が十分に把握しておくことが必要である。そのため、様々な状況下での避難訓練を実施することが望ましいが、頻繁に避難訓練を行うことは現実的ではない。その代替としては、津波避難シミュレーションを行い避難計画の検証や最適化の基礎データとすることが考えられることから、その活用事例とA町に対する今後の取組みを2.3.4で述べる。

## (5) 避難所の設備・生活イメージの共有

避難者が予め準備して持ち出すべきものの共通認識を図ること、あるいは備蓄品の充実を図ることを目的とし、避難訓練時などに避難所での宿泊・滞在を経験し、同時に現在の設備や備蓄品を確認するなどのアクションが考えられる。

## 2.3.4 A町の避難計画の検証や最適化を図るためのツールとしての津波避難シミュレーションの活用

### (1) 津波避難シミュレーションの活用事例

津波避難シミュレーションは、想定される津波に対して住民の避難行動を動的に表現することが可能であるため、防災計画の検討・検証や住民に対する防災教育・啓蒙への活用が進められている。

例えば、国土交通省ではモデル地域における津波避難シミュレーションを実施し、避難困難地域の抽出や避難可能となるための対策検討が実施されてきている<sup>2)</sup>。茨城県神栖市では、津波避難計画の立案に際して浸水被害が特に大きい3地区に対して津波避難シミュレーションを実施し、避難困難者を定量的に把握した上で、避難場所の確保、避難時間の確保、避難活動の迅速化、避難方向の周知等、地区毎に必要な津波対策の検討を行い、避難計画に反映している<sup>3)</sup>。また、神奈川県鎌倉市では、市のHP上で地区毎の津波避難シミュレーション動画を公開し、住民自らが津波の状況をイメージし、避難における地域の問題点を考えることができるようになってきている<sup>4)</sup>。

このように、近年津波避難シミュレーションは防災計画の立案や検証、防災教育への活用が進められてきているとともに、他自治体（例えば高知県<sup>5)</sup>）の津波避難計画策定指針でも具体的な避難対策を進める上でシミュレーションの活用を推奨しており、今後、津波避難シミュレーションの適用は拡大していくものと想定される。

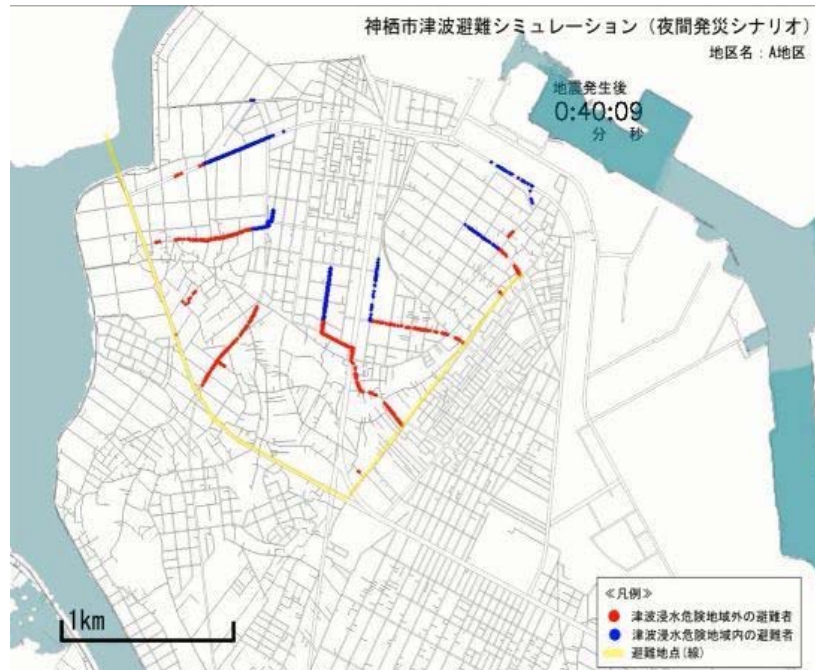


図2.3.2 神栖市の津波避難シミュレーション<sup>5)</sup>

## (2) 津波避難シミュレーションを用いた地域防災力向上に向けた取組み

ケーススタディの対象としたA町は、津波避難タワーや避難路整備、庁舎の高台移転等のハード整備を中心として津波対策が進められており、現時点で公開された津波避難計画がない。また、整備された津波避難タワー（写真2.3.3）は、避難困難地域の縮小の観点から海岸沿いの市街地中心付近に建設されている。

したがって、A町においては津波避難タワーを含めた具体的な津波避難計画の立案が急務であり、我々はA町に対し、その計画検討や避難計画の妥当性検証に活用することを目的とした津波避難シミュレーションの実施を提案してきている。現段階は試算・提案段階に留まっているが、今後何らかの枠組みの下で現地詳細調査に基づいた津波避難シミュレーションを実施し、行政に提供した上で防災計画の検討・検証に活用して頂くこと、住民や防災関係者を含めたワークショップを開催して防災教育・啓蒙活動の一助にするよう検討を進めているところである。



写真2.3.3 A町で整備された津波避難タワー

## 参考文献

- 1) 後藤洋三、中林一樹：東日本大震災津波避難合同調査団（山田・石巻市担当チーム）の調査、土木学会第67回年次学術講演会、2012.9.
- 2) 国土交通省都市局 津波防災まちづくりの計画策定に係る指針（第1版）、2013.6.
- 3) 神栖市 神栖市津波避難計画、2013.6.
- 4) 鎌倉市ホームページ  
[https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/tsunami\\_simulation.html](https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/tsunami_simulation.html)、2016.3.9閲覧.
- 5) 高知県：高知県津波避難計画策定指針  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013122000580/2013122000580\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_life\\_98235\\_361464\\_misc.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013122000580/2013122000580_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_life_98235_361464_misc.pdf)、2016.3.9閲覧.

## 2.4 津波避難の課題と対策

### 2.4.1 津波による被害が拡大した原因

東日本大震災では地震発生から津波来襲まで数10分はあり、歩ける人なら誰もが逃げ、助かることが可能な時間は用意されていたにもかかわらず、なぜ2万人近くの方が津波に呑まれ、亡くなったのか。ヒヤリング、アンケート調査結果から見えてきた原因を挙げると以下のとおりである。

#### 【思い込み】

先行経験（2日前、1年前の津波警報の空振り、数十年前の津波災害に基づく浸水域や水深の過小評価）や過小評価されたハザードマップを信じ、津波からの避難意識が希薄であったケースがまず挙げられる。例えば、アンケート結果では自宅が全壊したような地域の人においても石巻市のポスティング調査では約83%の人が、過去たびたび津波被害に遭っている山田町でも約63%の人々が津波を考えないかあのような大きな津波は来ないと思っていた（図2.2.4）。

#### 【諦め】

体が不自由（老化、障害）などの理由で避難自体を諦めたことが原因で、自宅が津波に呑まれるようなケースが挙げられる。たとえば三上の調査に依れば、石巻市では犠牲者のうち約33%が逃げずに自宅におり、また約15%は体が不自由またはその方の付き添いで自宅に居た方であった（表2.2.6）。逃げずに自宅に居た方は、諦めた方以外にも、上の「思い込み」に該当する場合もあるが、ヒヤリングでも足が不自由で逃げるができなかった、という話が多く聞かれた。

#### 【効果の薄い防災訓練】

例えば、過去に津波被害の経験が少ない石巻市では、防災訓練として消火訓練、炊き出し、避難所の確認などが行われていたが、津波からの避難を想定した訓練は行われていなかった（図2.2.7と2.2.3(5)2）。そのため、門脇地区では平地にある小学校に避難しても校庭から校舎に上がらず、逃げ遅れて亡くなった方もいた。一方、同地区にある企業等では津波を想定した避難計画、訓練が行われており、確実な避難場所に速やかに避難できたため、集団避難に成功していた（2.2.3(5)3）。

#### 【不正確な情報】

地震発生直後の大津波警報では岩手県は3mの予想津波高であった。その後、第二報、第三報と予想津波高は引き上げられた。山田町のように防潮堤が整備され、かつ警報発令の頻度が相対的に高い地域では3mと聞いて防潮堤があるから大丈夫、2階に上がれば大丈夫と思ったという話が聞かれた。すなわち不正確な情報により初動が遅れたことが考えられる。これは「避難を始めたきっかけ」として大津波警報を聞いたこととした割合が、予想津波高が6mであった宮城県リアス部（17.4%）より3mであった岩手県リアス部（10.5%）が少なかったことから裏付けられる（参考文献1）の5.3節 情報伝達と避難の課題の表-5.3.1）。

### 【防潮堤の存在】

防潮堤が整備されている山田町におけるヒヤリング調査では、防潮堤があったから大丈夫と思った、防潮堤があるので海が見えなかったという話が多く聞かれた。三上の調査によれば、山田町の犠牲者のうち 13.4% のものが海の様子を見に行き犠牲になっており、これは石巻市全体の 0.6%と比較して極めて多い（表 2.2.6）。このように防潮堤の存在がネガティブに作用する場合もある。

### 【帰宅行動立ち寄り行動】

後藤の報告によれば、岩手と宮城の家屋全壊域で約 20%の人が地震後に一旦帰宅し、10%の人が避難行動中に立ち寄りしていた（表 2.2.8、表 2.2.9）。これらの一旦帰宅や立ち寄り行動は、その人達の避難を遅らせただけでなく、狭い避難路を車で逆行するなどして避難の流れを混乱させていたとの証言もあった。しかし、一旦帰宅や立ち寄り行動の目的の 60%は家族・親戚や知人の安否確認や迎えであり（表 2.2.10、表 2.2.11）、避難要援護者が津波危険地域にいる状況を解消しない限り、大幅縮小は出来ない。

### 【渋滞】

柳原らによれば、石巻市における国道 398 号線のような地域を縦横断する幹線道路では自動車避難に伴う激しい渋滞が発生し、38%の自動車が渋滞に巻き込まれたことが報告されており（図 2.2.14）、逃げ遅れの原因となった。ヒヤリングにおいても渋滞中の車ごと津波に呑まれたが、車の屋根に上り運よく助かったという話も聞かれた。

## 2.4.2 津波避難の課題と対策

2.4.1 で挙げた項目が被害拡大の原因の全てではなく、また一人が犠牲となる原因は一つとは限らず、複合的にこれらの原因が絡み合っている。その前提で津波避難の課題と対策を以下に列挙する。

### 【地域住民の主体的参画による教育・訓練】

浸水が想定される地域に「思い込まない、諦めない、情報を過信しない」文化を植え付け、速やかに避難行動に移ることができるような教育・訓練を行うことは非常に重要である。事実その教育・訓練により救われた命も多数あった。釜石の奇跡と言われる学校での防災訓練の成果<sup>2)</sup>や山田町柳沢地区における自主防災訓練の成果<sup>3)</sup>など多くの事例がある。地域住民の主体的参画が教育・訓練の効果を高め持続していく上で極めて重要である。

### 【高台移転】

一方、地震発生から津波到達までに時間が短い地域においては、教育・訓練で救うことが可能な命は基本的に「逃げるができる人」であり、津波被害を最小化するための本質的な対策は、浸水域に避難弱者が居ないようにすることである。体が不自由な老人や乳幼児など「逃げるができない人」が浸水域に居ないようにすれば、「逃げるができない人」を助けるために、本来助かるはずの「逃げるができる人」が犠牲になることを防ぐこともできる。

浸水域に避難弱者が居ないようにするためには、その居住場所の高台移転、あるいは鉛直移転である。これが津波被害を減少させる最も効果的な対策であり、今後大きな津波の来襲が懸念される地域では、積極的に進めていく必要がある。しかし、地域社会の維持や合意形成、用地の確保、移転・移住に係るコストやその負担力などの点から、困難な対策である事は明らかである。そのため、津波による危険性を明示して居住を避けることを奨励する施策や、行政サービス施設、多くの人が集まるショッピングモール等の集客施設、バスターミナルなどの交通拠点を高台に移し、住宅や町の中心市街地が高台に移動するよう誘導する施策など、移転を促進する仕組みづくりが必要である。このような対策は、東日本大震災の被災地では復興事業として現実に行われているところであり、今後、大きな津波に襲われる可能性の高い地域においては、事前復興として、時間が掛かっても確実に前に進むよう取り組むべきである。

### 【情報】

さらに津波危険地域において生産活動・社会基盤維持のために活動する「逃げるができる人」に対し

て、必要な情報、避難の手段を与えることもあわせて必要である。「必要な情報」とは、避難のきっかけを与える情報と、いつまでにどこへ逃げればよいかの情報である。

前者は情報待ちにならず、まず避難行動を起こしてもらうための予め個人に内在して貰う情報であり、上述した【教育・訓練】により付与されなければならない。後者は、いつまでにどこへ逃げればよいか、そして他者への支援や財産保全の活動をいつまで続けられるかを適切に判断するための情報で有り、いつ津波がくるか、その浜辺に何mの高さが来るかについて、正確で迅速な情報を確実に伝達することが必要となる。これは現在整備が進められている沖合での津波観測システムと即時津波浸水予測システムの実用化、エリアメール等の日進月歩する情報手段を活用することにより可能となると期待される。

上記3項目をまとめると、

「逃げるができない人」→ 浸水域外への移転・移住

「逃げるができる人」→ 避難行動に必要な正確な情報の提供と避難路の整備と要約される。

### 【避難手段】

自動車による避難の禁止は限定的かつ過渡的の処置とすべきである。一部の地域で渋滞により自動車避難が逃げ遅れの要因になったが、徒歩避難より自動車避難の方が早く避難できた地域も多かった(図 2.2.18)。そして、自動車による移動が常態になっている地域では、強権的の処置を執らない限り、自動車避難を無くすことは現実には出来ないであろう。必要なことは、日常的に渋滞する交差点の立体化や道路の拡幅など経済効果も見込める対策を着実に進め、時間を掛けてでも自動車で避難できる環境を実現することである。

一方、徒歩避難も対象にした避難路の整備、避難場所の確保も重要である。避難路が液状化により通行不可能となり遠回りせざるをえなかったり、高台への避難路が土砂崩れにより通行不可能になったり、などしてはならない。避難路に対して津波以外の災害を想定した点検、診断を行い、必要に応じて対策を施し、津波発生時における避難路としての機能を確保しておくことが重要である。

### 【避難シミュレーションの活用】

避難シミュレーションについては、この研究委員会で開発されたV&V、すなわち信頼性を検証し適用性を実証する仕組みを活用して機能と特性を有効に活用した利用が進むことが望まれる。すでに、わかりやすい動画による津波防災意識の向上、避難の流れの阻害要因と対策効果の見える化による合意形成ツールとしての活用があるが、今後は避難の定量的な表現による防災施設などの計画・設計分野への活用も期待される、

### 参考文献

- 1) 土木学会：東日本大震災調査報告書第9編緊急・応急期の対応 (2016年発刊予定)。
- 2) 群馬大学災害社会工学研究室地域防災に関する実践的研究  
<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/research/cont-302-4.html> (2016年3月閲覧)。
- 3) 鈴木光、長谷川庄司、後藤洋三：コミュニティ単位での防災訓練等の活動による避難状況の分析、土木学会第67回年次学術講演会講演概要 I-185、pp369-370、平成24年9月。



付表(a) 東日本大震災津波避難調査の事例

通番	調査実施機関	調査の目的	調査対象	調査期間	調査方法
1	(株)東日本放送 &(株)サーベイリ サーチセンター	自主調査、実態の早期把握	宮城県沿岸部8市町18 避難所の451人	2011年4月	避難所を訪問してヒヤリング
2	山口大学	津波避難行動の実態調査、避難遅れ、移動手段等の課題分析	宮城県名取市の避難所の24人と仮設住宅等の1,135人	2011年4月～8月	避難所でヒヤリング(24件)、仮設住宅等でポスティング(324回収、回収率29%)
3	(株)ウェザーニューズ	津波の犠牲者と生存者の間での判断、行動の相違の調査	北海道、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県津波被災者(生存者情報3,298件、犠牲者情報1,998件)	2011年5月～6月	WEBモニターに協力依頼のメールを配信し、WEB上のアンケート調査票に回答してもらう。
4	東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)	被災者の津波避難行動の実態調査、記録	岩手県山田町の避難所等の214人と宮城県石巻市の仮設住宅等の1,138人	2011年6月～12月	避難所、仮設住宅等を訪問しての傾聴ヒヤリング(555件)と仮設住宅でのポスティング(797件、回収率24%)
5	内閣府・消防庁・気象庁(被災者関係)	被災者の津波避難行動と被害の関係の分析	岩手県、宮城県、福島県の沿岸部で県内避難している被災者870名	2011年7月	仮設住宅・避難所を訪問してヒヤリング
6	内閣府・消防庁・気象庁(支援者関係)	避難支援者の状況と課題の検証	岩手県、宮城県、福島県の9自治体	2011年7月	事前に調査票を送付してから訪問してヒヤリング
7	国際機関に務める有志の会	犠牲率の高かった自治体の避難行動の特徴、被害拡大の要因、社会的背景の分析	岩手県陸前高田市住民37人(ただし、多くの人の消息を聞き出し、亡くなられた方55人を含む207人の行動を調査)	2011年7月	避難所、仮設住宅、被災した住宅跡、移転先の住宅などで傾聴ヒヤリング
8	国土交通省住宅局	被災地の市街地復興計画、今後大規模な津波の来襲が予想される地域における対策などへの活用	青森・岩手・宮城・福島・茨城・千葉の6県の太平洋側に位置する49市町村の被災者10,603人	2011年9月～12月	避難所、仮設住宅、自宅などを訪問してヒヤリング
9	茨城県	県民の震災時の行動や意識について調査・分析し県の地域防災計画へ反映する	茨城県沿岸部と内陸部の住民4,594人	2011年9月～12月	アンケート票を12,000件配布して郵送により3,890回収、Webアンケートにより754件回収
10	日本災害情報学会東日本大震災調査団(津波災害関係)	災害像の輪郭をつかみ、避難面での課題、災害情報に関する課題を明らかにし、今後の効果的な大規模災害対策に寄与する	東日本大震災において津波被害を受けた沿岸43自治体(福島原発事故の影響を受けた6町村を除く)	2011年10月～2012年9月	各自治体を訪問してヒヤリング調査
11	内閣府(団体関係)	津波避難について、被災者、各関係者の行動と対応状況の実態を詳細に調査し、記録として残す。特に避難行動の促進要因と阻害要因に注目	岩手県、宮城県、福島県の沿岸市町村の地方公共団体、民間事業者、病院、社会福祉施設、自治会、消防団など約550団体	2012年4月～10月	各団体へのヒヤリング調査
12	内閣府(集落単位)	同上	青森県、岩手県、宮城県、茨城県、千葉県15集落(約260人)	2012年5月～6月	戸別訪問による傾聴ヒヤリング
13	内閣府(被災者関係WEBアンケート)	同上	岩手、宮城、福島を除く大津波警報発表地域の沿岸市町村の約12,000人	2012年7月～8月	WEBモニターに協力依頼のメールを配信し、WEB上のアンケート調査票に回答してもらう。
14	内閣府(被災者関係留置アンケート)	同上	岩手県、宮城県、福島県の沿岸市町村の27市町の住民11,400人	2012年8月～10月	調査票を配布して訪問回収する留置アンケート調査

付表(b) 東日本大震災津波避難調査の事例

通番	サンプリング方法	主な調査項目	特徴
1	20歳以上男女を対象、詳細は不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震直後の津波リスクの認識</li> <li>大津波警報の覚知状況</li> <li>避難場所の変更（の必要性、理由）</li> <li>必要な情報、震災報道の問題点、ボランティアと行政への要望</li> </ul>	速報は4月末に公表された。早期の調査であるため避難所生活への要望が調査されている。避難場所の変更が設問されているのは、一時避難場所が安全でなかった事例が多かったためと思われる。
2	仮設住宅等の入居者全数935世帯及び市外借上げ住宅200世帯	<ul style="list-style-type: none"> <li>大津波警報の覚知、避難の決断</li> <li>避難行動、避難経路、移動手段</li> <li>避難場所の変更</li> <li>避難しなかった事情と結果</li> <li>地震前の備え</li> </ul>	津波警報の伝達、車避難の渋滞、2次避難中の被災などの課題があった地域での調査である。自転車避難の有用性に注目した分析がされている。
3	(株)ウェザーニューズが展開する双方向気象情報サービスサイト「ウェザーニュースタッチ」利用者	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難開始までの時間</li> <li>避難開始のきっかけ</li> <li>避難行動、避難場所とその変更</li> <li>津波から逃げ切れなかった理由</li> <li>避難場所から危険地域へ戻る理由</li> </ul>	生存者に身近な犠牲者の状況を知りうる限り回答してもらい犠牲者の行動について約2千件の情報を集めて生存者の行動と比較している。
4	山田町では避難所入居者から任意抽出 石巻市では主要仮設団地の全戸を対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震直後の津波リスク認識</li> <li>大津波警報の覚知状況</li> <li>避難行動、避難場所、移動手段と避難ルート</li> <li>被災経験、防災養育と訓練の評価</li> <li>亡くなられた方の情報</li> </ul>	技術者研究者が被災者に直接傾聴ヒヤリングを行っている。ポスティングでは避難ルートや亡くなられた方の情報を記載してもらっている。回答者に体験教訓等の後世に伝えたいことを自由記入してもらっている。
5	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波リスクの認識</li> <li>大津波警報の覚知状況</li> <li>避難のきっかけ、避難しなかった理由</li> <li>避難行動、避難先の安全性</li> <li>避難手段、車避難選択の理由</li> <li>安否確認</li> <li>津波との遭遇と巻き込まれた状況</li> <li>1年前のチリ津波地震時の行動</li> <li>防災教育と訓練</li> </ul>	揺れが収まった後の避難行動、避難場所、車避難について詳細に分析されている。
6	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>人的被害の軽減に係る役割</li> <li>被害状況</li> <li>初動体制、防災情報の入手、避難誘導</li> <li>水門等の施設操作等</li> <li>過去の津波に関する経験</li> <li>平時の防災活動、防災計画等</li> </ul>	
7	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>被害状況</li> <li>避難行動</li> <li>チリ津波の経験</li> <li>避難の準備、避難先の安全性</li> <li>愛他的行動</li> <li>復旧復興</li> </ul>	避難の形態を、避難層、避難遅延層、避難被害層、不避難層、避難不可層に分け被害拡大の背景要因を分析している。チリ津波の経験のマイナス作用、危険地域への市街地スプロール、予想津波高さ第1報の過小評価等の影響を考察している。
8	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波リスクの認識</li> <li>大津波警報の覚知状況</li> <li>避難行動、移動手段と避難ルート</li> <li>避難時の状況、避難先等</li> </ul>	網羅的で大規模な調査である。避難開始時間、避難移動手段、避難速度、避難路、避難誘導などについて知見がとりまとめられている。
9	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震直後の津波リスクの認識</li> <li>大津波警報の認知</li> <li>避難行動、避難手段</li> </ul>	内陸部の住民の地震に対する対応も調査されている。設問の範囲も広く、当日の帰宅行動や事前の備え、地震による被害、避難所生活の課題、国県市町村の被災後対応の評価も設問
10	悉皆	<ul style="list-style-type: none"> <li>被災と避難の事実確認</li> <li>避難勧告、避難指示の伝達手段</li> <li>避難手段（自動車避難の是非）</li> <li>避難場所（避難場所の被災）</li> <li>復旧の課題</li> <li>事前の防災対策、防災教育、ハザードマップ、広報</li> </ul>	津波被害時の自治体からの情報伝達、自治体の対応の事実及び自治体の意見を聞き取り、記録している。津波被災自治体に対する悉皆調査として独自性のある調査である。調査結果は日本災害情報学会のホームページで公開されている。

通番	サンプリング方法	主な調査項目	特徴
11	不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>被災状況</li> <li>震災当日の情報入手・伝達状況</li> <li>震災当日の避難誘導状況</li> <li>今後の課題</li> </ul>	一団体当たり60分程度のヒヤリングで多様な機関の対応と課題が収集されている。
12	人的被害の状況や当日の避難の状況などを確認の上、集落を選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波に対する意識</li> <li>避難行動の促進要因と阻害要因</li> <li>集落の住民の避難の全体像</li> <li>個人と集落としての意識・行動</li> </ul>	津波の犠牲になった人の行動について、確度の高い情報を得ている。各集落の避難行動のおおむね全体像が把握されている。
13	WEBモニターの属性は不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震発生直後の意識・行動</li> <li>避難のきっかけ</li> <li>避難行動</li> <li>東日本大震災前後の意識の変化</li> </ul>	地域が広いことと被災が比較的軽微であったことを前提にしているが主な調査内容は次の調査票によるアンケートとほぼ同じである。
14	被災地の中から町丁を無作為抽出、さらに住宅地図上で調査対象者を無作為抽出し協力いただける方に調査票配布	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震発生直後の意識・行動</li> <li>避難のきっかけ</li> <li>情報伝達</li> <li>避難行動</li> <li>避難行動の促進要因と阻害要因</li> <li>東日本大震災前後の意識の変化</li> </ul>	全体で42問、選択肢が多数ある詳細なアンケートである。

付表(c) 東日本大震災津波避難調査の事例

通番	資料参照先
1	(株)サーベイリサーチセンター宮城県沿岸部における被災地アンケート調査報告書 <a href="http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf">http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf</a>
2	名取市東日本大震災記録誌7章 名取市における東日本大震災津波からの避難に関するアンケート調査 村上ひとみ：2011年東日本大震災による名取市の人的被害と避難遅れ影響要因―被害統計と津波避難アンケートの分析―、地域安全学会論文集、No.24、2014、pp.101-110.
3	(株)ウェザーニューズ「東日本大震災」調査結果 <a href="http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/110908.html">http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/110908.html</a> <a href="http://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011_research/index.html">http://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011_research/index.html</a>
4	後藤他：東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果-調査概要-並びにデータ特性分析、日本地震工学会論文集特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」に掲載予定
5	内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第7回会合の一連の資料 <a href="http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/index.html">http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/index.html</a> 第12回会合資料3報告(案) 参考図表集p34～40 <a href="http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/12/pdf/3.pdf">http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/12/pdf/3.pdf</a>
6	内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第7回会合資料3 <a href="http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/index.html">http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/index.html</a>
7	小野、澤井、中須、萩原、三宅(2011)「陸前高田市における東日本大震災大津波襲来時の住民行動：将来の防災に向けて」 陸前高田市への報告書 中須・倉原2013「災害調査と東日本大震災」『社会と調査』10号64-69
8	国土交通省HP <a href="http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi-hukkou-arkaibu.html">http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi-hukkou-arkaibu.html</a> 東京大学空間情報科学研究センター復興支援調査アーカイブ <a href="http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/">http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/</a>
9	茨城県生活環境部消防防災課平成23年度茨城県地域防災計画改定調査県民アンケート結果報告 <a href="http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kikikanri/bousai24.4.10/a-houkokusyoy.pdf">http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kikikanri/bousai24.4.10/a-houkokusyoy.pdf</a>
10	日本災害情報学会HP <a href="http://www.jasdis.gr.jp/_userdata/06chousa/main_data/10daishinsai-rep.pdf">http://www.jasdis.gr.jp/_userdata/06chousa/main_data/10daishinsai-rep.pdf</a>
11	内閣府防災対策推進検討委員会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・津波避難に関する調査について <a href="http://www.bousai.go.jp/jjshin/tsunami/hinan/index.html">http://www.bousai.go.jp/jjshin/tsunami/hinan/index.html</a>
12	同上
13	同上
14	同上

### 3. 都市避難部会

#### 3.1 目的と成果概要

2011年東日本大震災では東京都心の震度は5弱で、大きな被害は生じなかったが、帰宅困難者が溢れ、幹線道路は渋滞し、首都機能は麻痺状態となった。その結果、今後発生が懸念される首都直下地震や南海トラフ巨大地震の際、都心部にいる場合、現在ではむやみに帰宅・避難せず、できるだけ建物・施設内に留まることが求められている。一方、日本の大都市における伝統的な最大の災害は延焼火災であり、この場合は広域避難場所への速やかな避難が必要になる。火災時の避難場所には都心の公園や河川敷・沿岸部が指定される場合があり、震災後には大群集が滞留しているだけでなく、液状化や津波の危険性、さらに最悪条件では高潮や洪水、内水氾濫による水害等が連続発生する複合災害も考慮する必要がある。従って、今後、大都市における様々な大規模災害に効果的な対応を可能とするために、想定される様々な災害の影響の複合的に評価し（マルチハザード評価）、どのような災害でも対応可能な標準化された対応策（オールハザード対応）の推進が求められている。

上記の背景を鑑み、巨大都市（特に中心市街地・産業施設）における地震・水害等による複合災害対策の現状と課題を整理することを目的として、「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会（2012-2015年度）」において「都市避難部会」が設置され、活動を開始した。さらに2014年度に前・安田日本地震工学会会長のもとに特別委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会（委員長：久田嘉章）」を結成し、都市避難部会と一体となり2年間の活動を行った。

本部会および特別研究委員会の主な成果は以下の通りである。まず公開の成果報告会・シンポジウムとして、下記を開催した。

- ・2014年12月に第14回日本地震工学シンポジウムでオーガナイズドセッション（OS）「大地震から巨大都市をどう守るのか（オーガナイザー：久田嘉章、大原美保）」の主催、
- ・2015年6月に工学院大学新宿キャンパスにて中間成果報告会の開催、
- ・2015年11月に「建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム（SIP防災と連携開催）」の開催、
- ・平成27年度日本地震工学会年次大会で横断セッション「巨大都市で想定される様々な災害（オールハザード）の現状と対策を考える」を主催、
- ・2016年5月には最終報告会の開催（予定）

また刊行物として、最終成果報告書に加え、・2016年4月に日本地震工学会論文集特集号「巨大都市における地震・水害等による複合災害対策の現状と課題」の刊行（総説3編、論文7編、報告3編、寄稿1編の計14編の研究成果）を予定している<sup>1)</sup>。さらに特別委員会の報告書は2016年3月に刊行した<sup>2)</sup>。

本章では上記成果のうち、日本地震工学会論文集特集号における総説「震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題」（久田嘉章）を3.2節に、特別委員会の報告書の3.2節「北千住駅周辺エリアの取り組み事例」（小林 亘、大原美保、高田和幸）を3.3節に掲載した。論文集特集号および特別研究委員会報告書では、多くの分野の専門家による最先端の研究成果と様々な取り組み事例を紹介しているため、より詳細な内容はそちらを参照されたい。

今後、ますます複雑・巨大化する都市の複合災害への対策は、地震工学を専門とする工学者・技術者にも重要なテーマとなりつつあります。本報告書の成果が、今後の関連分野の研究の一助になることを期待している。

#### 参考文献

- 1) 日本地震工学会、論文集特集号「巨大都市における地震・水害等による複合災害対策の現状と課題」、2016年4月
- 2) 日本地震工学会、首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会・最終成果報告書、2016年3月

### 3.2 震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題

#### 3.2.1 はじめに

2011年東日本大震災では東京都心の最大震度は5強であり甚大な被害は生じなかったが、通話回線が輻輳、公共交通は停止し、ターミナル駅周辺には膨大な数の帰宅困難者が溢れ、幹線道路は大渋滞となり緊急車両の通行が困難になった。さらに超高層建築では長周期地震動による大きな揺れで大勢が館外へ避難し、湾岸地域では大規模な液状化が発生するなど、首都機能はマヒ状態となり、改めて巨大都市の脆弱性が浮き彫りとなった。最近、国や自治体では首都圏を対象とした地震被害想定結果を公表し、M7.3の首都直下地震（都心南部直下地震）では震度6強以上の激しい揺れや延焼火災が広範囲に生じ、死者は最大2万人に達するなど甚大な被害状況が示されている<sup>1),2)</sup>。さらには、かつて人が住まなかった洪水や高潮などの水害の常襲地域である下町や湾岸低地には広大な市街地が拡大し、最悪の場合、震災による直接被害や大規模な延焼火災に、水害が連続して発生し、大群集による集団パニック（群集雪崩・流言飛語・治安悪化）など複合化する大規模災害への対応も検討する必要がある。一方、歴史上知られているM7級の首都直下地震の大半は小田原市の近郊が深さ50 kmを超える地震であり、中小被害が圧倒的に多い<sup>3)</sup>。従って、次の首都直下地震で「東京は火の海となり壊滅、逃げるしか対策はない」など耐震・耐火対策を諦めたり、災害時に不正確な情報で集団パニックに陥るような事態は避けなければならない。このためには、地域で考えられる最悪な想定に加えて、確率の高い中小規模の災害を想定し、被災レベルに応じた適切な対応行動をとれるための事前対策を行い、啓蒙活動を行うことが重要である。

本論は、本特集号「巨大都市における震災・水害等の複合災害に関する課題」に関連し、首都東京を対象とした近年の地震の長期評価や被害想定、および、都市型複合災害の現状と課題を整理し、日本建築学会や日本地震工学会における委員会での活動を中心に課題と提言等を整理した。

（本節は日本地震工学会論文特集号（2016年4月号）における総説「震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題」（久田嘉章）で構成している）

#### 3.2.2 首都直下地震の長期評価、歴史地震の実像、および、被害推定の現状と課題

想定外であった東北地方太平洋沖地震の発生を受け、首都直下地震や南海トラフなど各震源域での巨大地震の長期評価では、固有の震源域と発生確率を基礎とする従来の固有地震モデルから、考える最大規模の地震を含む多様性がある震源モデルを考慮することとなった<sup>4),5)</sup>。想定すべき地震の規模や発生確率は「よく分からないということが分かってきた」といえる状況であり、この実情を理解したうえで工学分野での専門家としての判断（Expert JudgmentまたはEngineering Judgment）が求められている。ここでは、多用性ある地震の長期評価や被害想定为例として首都直下地震の現状と課題を検討する。

##### (1) 首都直下地震の長期評価の現状

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）は「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価」を2004年に続き、2014年に検討結果を公表した。その中で「震源を予め特定しにくい地震」とされるM7級の首都直下地震の発生確率は前回と同様に今後30年で70%として発表している<sup>5),6)</sup>。以下のその概要と課題を紹介する。表3.2.1には江戸時代以降のM7級以上の首都直下地震の一覧<sup>7)</sup>と、地震本部による前回（2004年<sup>6)</sup>）と今回（2014年<sup>5)</sup>）の長期評価に使用した地震データを示すが、両者では用いたデータと評価法が大きく異なっている。すなわち、前回は地震の規模や震源位置が比較的良くわかっている明治時代以降の地震を対象としており、1885年から結果を公表した2004年までの119年間にM7程度（M6.7～7.2）の首都直下地震を5つ選定し、地震発生による更新過程のない単純な発生確率モデル（ポアソン過程モデル）を用いて発生確率を評価している。この場合、地震発生の平均間隔が23.8年（119年/5回）であり、今後30年間の発生確率が約72%（ $\cong 1 - \exp(-30/23.8)$ ）と評価した。ところが、このモデルでは地震が起きなければ発生確率は毎年低下してしまう。実際、2004年から現在までの11年間、M7級地震が発生していないため、地震発生間隔は26年（130年/5回）となり、現在の評価は30年間で約69%（ $\cong 1 -$

exp(-30/26)) まで低下している。

一方、2014年の報告<sup>5)</sup>では評価方法を大きく変えている。すなわち、M7程度 (M6.7~7.3) の首都直下地震は、相模トラフ沿いの巨大地震であるM8級の南関東地震の発生間隔に一定の法則があると仮定し、1707年元禄関東地震 (M8.2) から1923年大正関東地震 (M7.9) までの220年間に8回の首都直下地震を選定している。この場合、地震発生 の平均間隔は27.5年 (220年/8回)、今後30年間の発生確率が約66%であり、約70%として公表している。この方法であれば、今後とも30年で70%の結果は不変である。

但し、この検討で明らかなようにM7級の首都直下地震の発生確率が30年70%という数字は、厳密な科学的評価ではない。使用した表3.2.1のデータも子細に見ると、今回のデータには前回では選ばれなかった地震 (1894年東京付近のやや深い地震、M6.7) があるなど、選定に任意性がある (この地震を除くと30年に7回で62%となってしまう)。そもそも次の南関東地震までの首都直下地震が、元禄と大正の南関東地震の間と同じサイクルで発生するという科学的な根拠に乏しく、実際、元禄関東地震と大正関東地震では地震規模が異なり、両者の発生間隔にも大きな違いがある (前者は2000~3000年、後者は200~400年程度<sup>8)</sup>)。さらに、首都直下で発生する地震は相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートよりも、日本海溝から沈み込む太平洋プレートのほうが大きな影響を与えているという指摘もある<sup>9)</sup>。従って、M7級の首都直下地震の発生が30年で70%という数字は科学的な評価結果でなく、首都直下地震への対策の必要性を強調するための防災上の専門家判断 (Expert Judgment) であると言える<sup>3)</sup>。

表 3.2.1 江戸時代以降の M7 級の首都直下地震<sup>7)</sup> (☆はM8 級地震、○は地震本部による確率評価に使用)

番号	前回	今回	地域・名称	西暦	北緯	東経	M	被害摘要
1			元和江戸	1615	35.7	139.7	6.8	家屋が倒壊し、死傷多く、地割れを発生。
2			寛永小田原	1633	35.2	139.2	7.0	小田原で民家の倒潰多く、死150。熱海に津波が襲来。
3			慶安相模	1648	35.2	139.2	7.0	小田原城破損、領内で潰家が多かった。死1
4			慶安武蔵	1649	35.8	139.5	7.0	川越で大地震、町屋700軒ほど大破。圧死多数。
☆			元禄関東	1703	34.7	139.8	8.2	房総半島南部・小田原で被害大、死者約1万人、津波有
5		○	天明小田原	1782	35.4	139.1	7.0	小田原城天守傾き、江戸でも潰家、死者あり
6		○	嘉永小田原	1853	35.3	139.15	6.7	小田原で被害大、潰家あり
7		○	安政江戸	1855	35.7	139.8	7.1	江戸下町で被害大、死者7千人以上
8	○	○	明治東京	1894	35.7	139.8	7.0	東京・横浜の被害が大、東京で死24。川崎・横浜で死7
9		○	東京湾付近やや深い	1894	35.6	139.8	6.7	建物に小被害
10	○	○	茨城県南部	1895	36.1	140.4	7.2	茨城県南部に被害大
11	○	○	茨城県南部	1921	36	140.2	7.0	千葉・茨城県境付近に小被害
12	○	○	浦賀水道	1922	35.2	139.8	6.8	東京湾岸に被害があり、東京・横浜で死各1
☆			大正関東	1923	35.3	139.1	7.9	死者約10万人、住家全潰10万9千余、焼失21万2千余
13			丹沢	1924	35.3	139.1	7.3	死19、家屋全潰1200余。特に神奈川県中南部に著しい被害
14			西埼玉	1931	36.2	139.2	6.9	死16、家屋全潰207(住家76、非住家131)。
15	○		千葉県東方沖	1987	35.4	140.5	6.7	千葉県を中心に死2、傷161。住家全壊16、一部破損7万余

## (2) 首都直下地震の被害想定結果と実像

次に、首都直下地震に関する被害想定結果と過去の実像の違いを検討する。表3.2.1には江戸時代以降のM7級以上の首都直下地震と被害概要を示している。巨大地震である元禄と大正の関東地震は除くと、過去400年間で発生した15回程度のM7級の首都直下地震のうち、死者1,000名を超えるような甚大な被害を生じたのは1855年安政江戸地震の1度だけである。M7級の地震でも大きな被害が生じない理由は、小田原での地震を除き、その殆どは深さ50 kmより深い地震であり、フィリピン海プレートよりも、より深く活発な太平洋プレートに起因することが原因と思われる<sup>3),9)</sup>。

首都直下地震の被害想定結果と実像の比較として、図3.2.1に都心南部直下地震 (M7.3) の想定震度分

布<sup>8)</sup>と、歴史上最悪の被害を発生した1855年安政江戸地震（M7.1）の震度分布<sup>10)</sup>を示す。異なる地震の震度分布ではあるが、両者は震度の分布の特徴が大きく異なる。すなわち、前者では東京周辺は全域で震度6弱以上、東京23区は震度6強以上であるが、後者での震度6以上の地域は下町低地や盛土地盤（日比谷入江など）に限定され、その他は震度5など複雑な分布である。防災対策の推進を目的とする想定地震では、震度分布にバラツキある結果は公表され難く、一般には安全側となる大きめの値で平準化される。想定結果である図3.2.1（左）の震度分布は、「都内どこでも震度6以上の可能性あり、それに備えた対策が必要である」というメッセージを持つ防災上の専門家判断による評価結果である<sup>3)</sup>。一方、どこでも被害が出るという結果を強調しすぎると、その後の対応策に問題が生じる。例えば図3.2.1（左）では、「どこも被災するので病院の広域連携は困難」と判断する可能性があるが、図3.2.1（右）であれば、「被災した地域の重症者を被害の無い隣接する地域の病院に搬送すれば助けられる」という発想になる。被害想定結果に基づく対応計画だけでなく、現実の被災状況に柔軟に対応できる事前計画を準備しておくことが重要である。

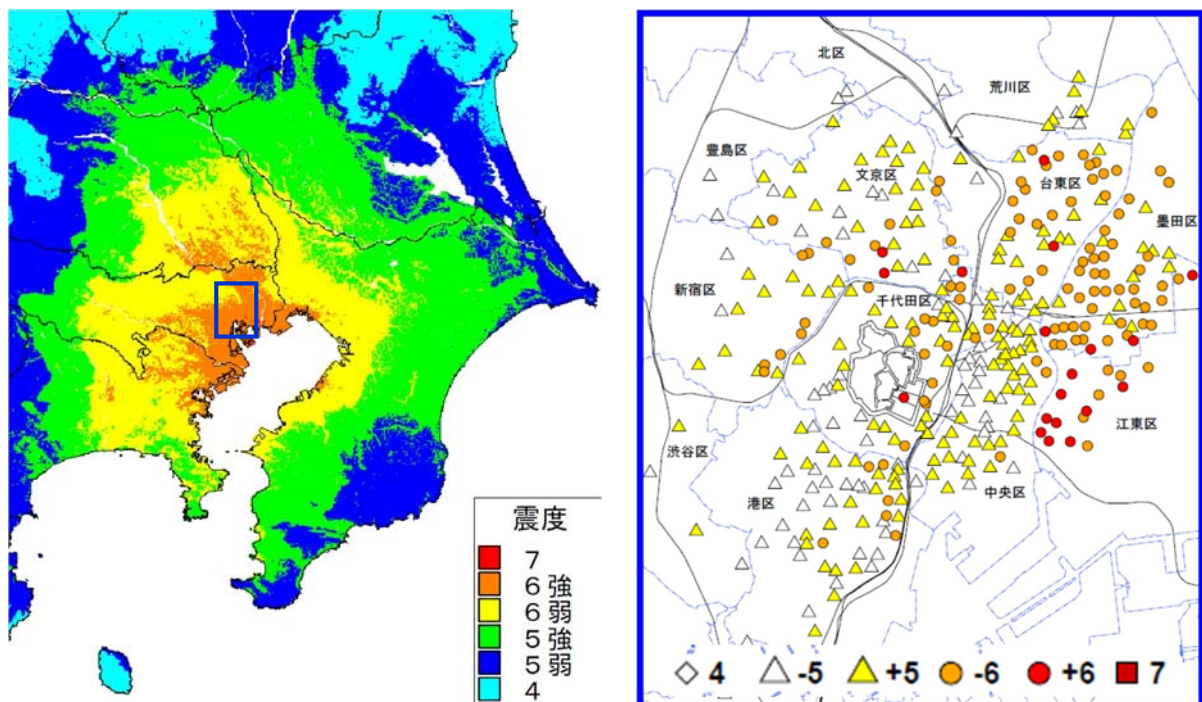
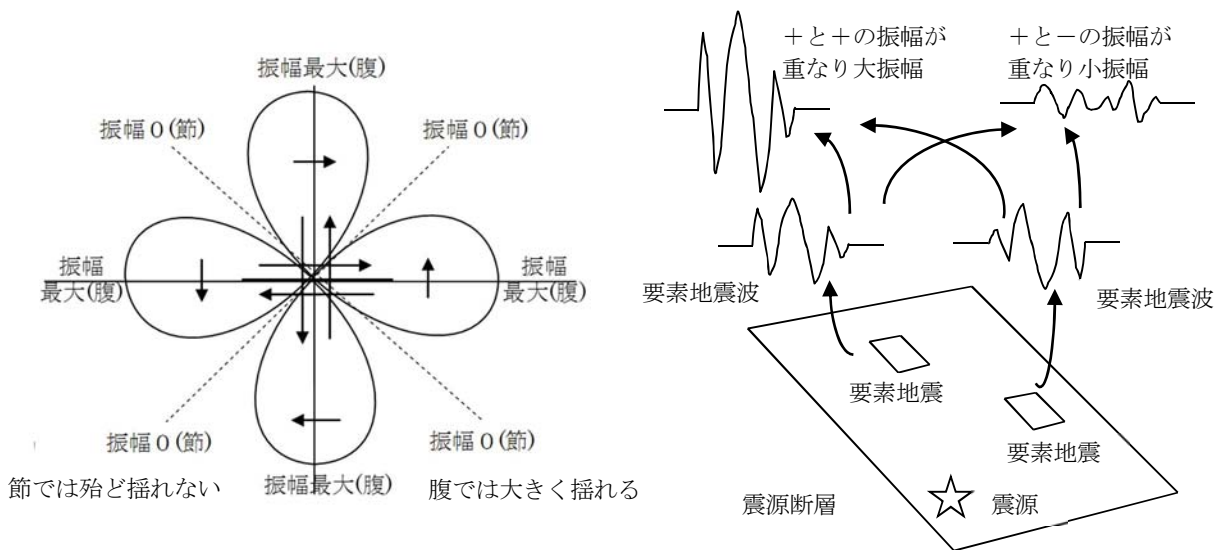


図 3.2.1 首都直下地震（都心南部直下地震、M7.3）の想定震度分布<sup>8)</sup>（左）と 1855 年安政江戸地震（M7.1）の震度分布<sup>10)</sup>（右）の比較。左図の四角が、右図の領域に相当する。

### (3) 現実の強震動や震度分布が大きくばらつく原因と、被害想定 of 課題

図3.2.1（右）のように実際の地震では地震動強さや震度分布が空間的に変動し、大きなばらつきが生じるが、その原因を整理する<sup>3)</sup>。一般にサイト特性（表層地盤の良否など）で地震動や震度に大きな差異が出ることは良く知られているが、図3.2.2に示すように震源や伝播特性でも地震動の振幅は空間的に大きな変動する。まず図3.2.2(a)は震源断層モデルの基本である点震源のS波の放射特性である。ダブルカップル（2組の偶力）により、最大振幅は断層面とその直交面の延長面上に現れるが、そこから45度の面上では振幅0である。現実の震源断層では点震源が複雑な形状の断層面に時空間で重ね合わせるため、地震動の振幅の分布には必ず強弱が生じ、空間的に大きく変動する。一方、図3.2.2(b)は、震源断層の各所から発生する要素地震波の重ね合わせ（波の干渉）の概念図である。ある観測点では2つの要素地震波での+と+の振幅が同時刻で重なるため大振幅になるが、すぐ隣の観測点では+と-の振幅が重なり小振幅になる可能性がある。重ね合わせの時刻は震源（破壊開始点）の位置や破壊伝播速度、要

素地震の位相特性などで大きく変化するため、地震動の振幅の空間分布は本質的に大きく変動する。



(a) 点震源による地震動振幅の空間変動 (S波放射特性) (b) 面震源と波動の伝播特性による地震動の空間変動

図 3. 2. 2 震源・伝播特性による地震動振幅の空間的変動の例<sup>3)</sup>

### 3. 2. 3. 震災・水害等による都市型複合災害に関する課題

巨大都市は近い将来に可能性の高い中小地震による震災だけでなく、水害や大群集が複合する「万が一」のための最悪状況を踏まえた対策も必要となる。東日本大震災時の大混乱に見られたように、首都東京に代表される現在の巨大都市は、震災の際、地震動や延焼火災による直接被害だけでなく、群集雪崩やパニック、風評・経済的被害などの巨大な間接被害が生じる恐れがある。さらに現代の都市は低湿地帯や丘陵地を造成し、広大な市街地を形成しており、風水害による被害への懸念も大きい。最悪の状況は、震災と水害の連続発生である。ここでは図3. 2. 3に示す東京の山手台地と下町低地を代表する大規模ターミナル駅である新宿駅と北千住駅を具体例に、震災・水害等による都市型複合災害に関する課題を検討する<sup>11)</sup>。

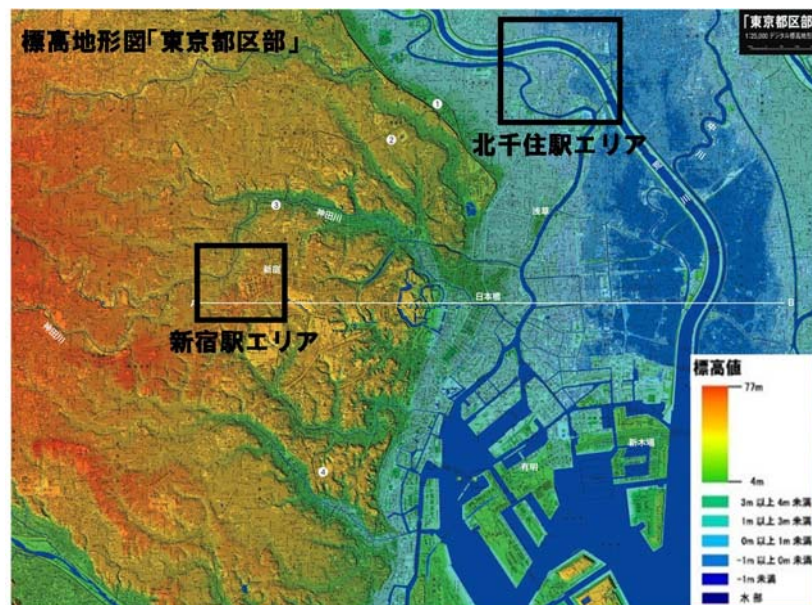


図3. 2. 3 東京都心の標高地形図と新宿駅・北千住周辺エリア (文献<sup>12)</sup> に加筆)



## (1) 新宿駅周辺エリアの現状と課題

図3.2.4(a)に示すように新宿駅周辺エリアは、世界最大の乗降者数（約347万人/日）の新宿駅を核とし、西口エリアは超高層ビル街、東口エリアは我が国で最大の商業・歓楽地域である。エリア内では約2万人の（夜間人口）は対し、昼間人口は約30万人を超え、東京都の想定では昼間の震災時には駅周辺に約17万人が滞留し、約9万人が帰宅困難者になる<sup>2)</sup>。一方、基礎自治体である新宿区の地域防災計画（避難所や備蓄、医療救護体制等の整備）の主対象は住民である夜間人口であり、昼間人口が集中する中心市街地では、一般に個別事業者によるBCP/BCMや、施設ごとの消防法による消防・防災計画など自助に期待されているが現状である。新宿駅周辺エリアでは、震災時に膨大な数の帰宅困難者に加え、繁華街での火災危険度も高い。さらに電源を喪失した場合、真夏の昼間であれば超高層建築や集客施設、地下街から大量の人が溢れ出てくる可能性が高い。加えて、西口エリアの外縁（中野区など）には広大な木造密集市街地がある。東京都の避難計画では、延焼火災時には広域避難場所（地区内残留地域）である西口エリアに大勢の住民が避難することになっている<sup>13)</sup>。従って、最悪の場合、郊外に向かう帰宅困難な群集と都心を目指す住民が衝突し、全く身動きができなくなるなどの大混乱が生じる可能性がある。一方、夜間の場合は、繁華街での膨大な人口を抱えているにも関わらず、自治体や事業者における災害対応従事者が殆どエリア内にいないことも大きな課題となっている。

新宿駅周辺エリアにおける共助による取り組みとして、2007年に新宿駅周辺防災対策協議会（当初の名称は新宿駅周辺滞留者対策協議会）が設置され、様々な活動を行っている<sup>14)</sup>。そこでは、震災時にもできるだけ施設やエリア内に留まることと、万が一の災害に備えたエリア連携による災害対応力の向上を目的として、地元事業者や教育機関や、自治体（新宿区、東京都）、医師会などが連携して、震災時の情報共有拠点としての現地本部の設置（西口は工学院大学、東口は新宿区役所）し、震災対策のためのセミナーや講習会、防災訓練を毎年実施している。さらに2012年には都市再生特別措置法が改正により、中心市街地を対象とした都市再生安全確保計画制度が創設され、新宿駅周辺エリアでも2014年に新宿駅周辺地域都市再生緊急整備協議会を設置し、対策が始まっている<sup>15)</sup>。一方、協議会の大きな課題は、主な活動が委託業務やボランティアに依存しており、実際の大規模災害時にどこまで適切に対応できるか不確かなことである。今後は、中小災害から大規模な複合災害、昼間・夜間、平日・休日など様々な条件下での被害を前提としてエリア内対応の行動計画を策定し、責任体制やオペレーションを明確化し、常勤職員によるエリア防災センターなどを設置するなど、実効性ある組織づくりが次の課題である。

## (2) 北千住駅周辺エリアの現状と課題

図3.2.4(b)に示すように北千住駅周辺エリアは、北は荒川、南は隅田川に囲まれた陸の孤島である。ほぼ中央に大規模ターミナル駅である北千住駅（約150万人/日の乗降客）があり、東京都の想定では震災時には約3万人の滞留者と、1万人以上の帰宅困難者が予想されている<sup>2)</sup>。エリア中央の南北に幹線道路（国道4号線）が通り、東日本大震災時には北千住駅からの移動した帰宅困難者や、南北の橋がボトルネックとなり大渋滞が生じた。このエリアは液状化の危険度が高く、多くの木造密集地域が存在する<sup>2)</sup>。広域避難場所は荒川の河川敷などが指定され、延焼火災時には多くの住民は北向きに避難する計画となっている<sup>15)</sup>。一方、水害の危険性が高いエリアでもあり、足立区の洪水ハザードマップ（荒川破堤）では、ほぼ全域で最大で約5 mの浸水が想定されており、堤防決壊の可能性がある場合、住民は南の隅田川を渡り、都心の山手台地などへの区外への避難を行う計画となっている<sup>16)</sup>。最悪な場合は震災と水害の連続発生であり、災害情報を得た住民や帰宅困難者は、安全な避難先が分からず、大混乱する不可能がある。

このエリアでの共助による対策として、2007年に北千住駅前滞留者対策推進協議会が設置、2014年には北千住駅周辺地域都市安全確保促進計画を策定し、災害用掲示板や定点カメラの整備、防災訓練などの活動を行っている。さらに2014年からは新宿駅周辺エリアと連携して、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム：内閣府）による課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」（内閣府と独立行政法人科学技術振興機構（JST）で合同実施）の対象地域に選定され、災害時の効果的な対応行動を可能とするための基礎調査が実施されている。その成果が日本地震工学会・特集号（2016年4月号）でも公表されている。



図3.2.4 新宿駅・北千住駅エリアと震災時に想定される帰宅困難者や周辺住民の群集移動の向き  
 (文献<sup>13)</sup> に加筆；緑は火災時避難場所、黄色は地区内残留地区、橙色は総合危険度の高い地域、  
 赤い網掛けは火災危険度が高い地域、ドットは建物倒壊危険度が高い地域)

### 3.2.4. 震災・水害などによる巨大都市の複合災害を前提としたレベル別被災度への対応策

3.2.2では可能性の高い首都直下地震は中小被害であること、一方、3.2.3では可能性は極めて低いものの震災や水害が複合する都市型災害などの最悪な過酷事象も考慮する必要があることを指摘した。このような背景を踏まえ、できるだけ災害を生じない事前対策に加え、中小災害から万が一の最悪な被災状況を想定して、柔軟かつ速やかな対応行動を可能とするレジリエントな都市の施設とまちづくりが求められている。この章では、この課題に関して著者がかかわった日本建築学会による提言と日本地震工学会の特別研究委員会における活動成果を中心に紹介する。

#### (1) 日本建築学会における首都対策の課題と提言<sup>18), 19)</sup>

東日本大震災を受け、日本建築学会では「東日本大震災調査復興支援本部」を設置し、今後検討すべき調査研究に関する提言のとりまとめと課題の解決にむけて、「研究・提言部会(2011-2012年度)」を設置した。この提言<sup>18)</sup>では、人と生活という視点による東日本大震災から得られる教訓から、「(大)津波」「(災害)対応」「首都(を含む大都市)」「原(子力)発(電所)(災害)」「(記録と)継承」という5つのキーワードを軸にまとめ、後者ではそれに対応した5つのワーキングが活動し、報告書と刊行物<sup>19)</sup>を取りまとめた。ここでは著者が主査としてまとめ役となったのは提言「首都」を解説する。そこでは12の提言を以下の4つの主題に分類した。

首都—巨大都市での人々の活動を維持・継続する(詳細は日本建築学会・提言<sup>18)</sup>を参照)

- 首都① 性状実態把握/非構造部材性能、
- 首都② 即時災害対応
- 首都③ 建築・都市機能維持、
- 首都④ エリア防災マネジメント

上記4つの核となる提言は、首都に代表される巨大都市において「逃げる必要のない建物・まちづくり」の推進である。まず首都①は、主としてハード対策に関する提言であり、巨大都市での人々の活動を維持・継続するため、過大入力を含めた建物の構造躯体・非構造部材の性能評価と、より高い耐震性能の付与を提案している。例えば都心南部直下地震では広大な地域が震度6以上の強い揺れが想定されており(図3.2.1左)、これと図3.2.5の築年別の木造・非木造建物の被害関数(全壊率)<sup>1)</sup>による被害状況を考える。震度6強(6.0~6.5)であっても、現行の建築基準法に準拠した新しい建物(2002年度以降の木造建物と1981年以降の非木造建物)であれば、全壊率は劇的に低減する。さらに、巨大都市のハイリスクと影響度の大きさを鑑み、より高い耐震性能(例えば耐震等級2以上の建物や免震建物な

ど)が付与できれば、仮に震度7(6.5から7.0)であっても全壊率はほぼ0にすることが可能である。全壊率の低減は「逃げる必要のない建物・まちづくり」を実現するだけでなく、出火・延焼や瓦礫量を激減させ、速やかな初期消火・救援救護、復旧・復興活動にも大きく寄与する。

提言・首都①では、レベル2地震動を超過するような過大入力(震度6.5以上など)に対して修復が容易で冗長性ある構造形式(重要度の低い部材から順次塑性化など)の開発と体系化の推進を提案している。一方、図3.2.5の木造家屋の被害関数には経年劣化による全壊率の上昇が考慮されており、高い耐震性能と維持管理の容易な質の高い建物を建てるだけでなく、しっかりとしたメンテナンスも重要である。同時にそのような努力が社会的にも資産価値としても評価される仕組みづくりが必要になっている。

次に、首都②~④では建物単位(自助)による対策だけでなく、エリアを単位とする多重防護(共助)による「逃げる必要のない建物・まち」を実現するための課題と提言を行っている。業務地区や居住地区などのエリアを単位として拠点・モニタリング・通信網等の施設を設け、平常時にはエリアデータベースの整備や安全・安心や環境改善、資産価値を維持・向上するための活動を行い、災害時には速やかな情報収集や配信、危機対応を実施するエリアマネジメントを可能とする体制づくりが有効である。長距離無線LANなどの災害時にも使用可能な通信手段により、周辺のエリア拠点施設、自治体や拠点病院、避難所など周辺の拠点施設が結ばれば、広域な情報共有や広域避難などの多重の防護体制が構築できる。対策の具体例として、首都②でモニタリング(地震計や監視カメラなど)による情報共有と即時対応、首都③では建築・都市機能維持での継続計画、首都④ではエリア防災マネジメントに関する課題と提案をまとめている。

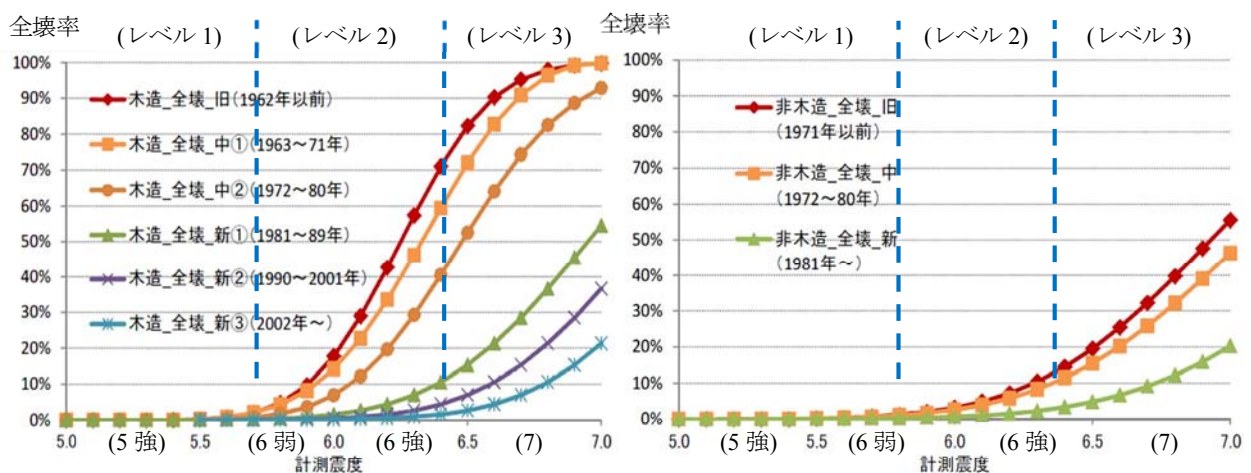


図3.2.5 築年別の木造・非木造建物の全壊率<sup>1)</sup>と災害対応レベルのイメージ

## (2) 日本地震工学会・特別研究委員会による都市型災害の課題と対策

日本地震工学会における活動として、「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会(2012-2015年度)」における第4部会「都市避難部会」、および会長特別研究委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会(2014-2015年度)」の活動を紹介します。1~3章の検討事項を背景とし、超巨大都市に地震・水害等による複合災害に関する有効な対応を可能とするため、エリア単位での自助・共助による防災・減災体制の構築と災害レベルに応じた災害対応力の向上を目的として、以下の方策を検討している。

- ・ **予測**：最大級地震等による最悪シナリオだけでなく、可能性の高い中小規模の災害をシミュレーション等で予測する。その際、地域特性に応じて水害や震災など複合災害も検討する。
- ・ **予防**：事前の耐震・水防対策に加えて、被災想定等から数段階の被災レベル(例えばレベル1~3など)を設定し、各レベルに応じた対応計画を策定し、様々な被害低減のための対策を講じる。
- ・ **対応**：実際に被害が発生した場合、速やかに被災レベルを判断し、対応行動計画に基づくエリア内で行動を実施する。被災レベルと実際の被災状況に乖離がある場合は速やかに対応行動を修正す

る。

可能性の高い中小災害から、万が一の備えとしての最悪の災害にも対応可能とするために、被災レベル別の対応計画と行動ルールの策定が有効である。例えば、「被害想定によりエリア内に126名の負傷者が想定されているので、その詳細な対策」の検討ではなく、「負傷者がエリア内に、数名の場合、数十名の場合、数百名の場合、とレベル別に設定して対応策（エリア内での対応不可能まで含む）」を検討しようという手法である。震災のレベルと対応のイメージを理解するために、図3.2.5には代表的な被害関数を例として、それに被害対応レベルを重ねている。震災はあるレベル（一般に震度6強程度）から急激に増大し、同時多発する被害数も対応の優先順位も異なってくる。新宿駅周辺地域が対象の場合では、まず、レベル1は、可能性の高い中小災害であり、人的・物的な被害は大きくないが、ターミナル駅周辺では大群集が溢れ、帰宅困難者と併せてその対策が主たる行動計画になる。各施設の在館者は施設内待機が原則であるが、行き場のない群集は近隣の広域避難場所に誘導する。各施設の安全確認が終わり次第、行き場のない帰宅困難者を収容する一時滞在施設の確保が課題となっている。次にレベル2は、可能性ある大災害であり、エリア内では建物被害や火災、負傷者を生じ、対応を誤ると連鎖的に2次災害を引き起こす可能性がある。但し、原則としてエリア内の連携によって対応可能なレベルである。例えば、多数の負傷者は地元の医師会や医療施設と連携したトリアージを実施し、重傷者は医療施設、軽傷者は各施設の応急救護所などで対応する、あるいは主要施設の継続使用性の判定を地元の建築技術者と連携して速やかに判定する、などである。最後にレベル3は、考え得る最悪の災害状況（水害等が複合災害を含む）による、万が一のための対応レベルである。エリア内での対応可能な被災レベルを凌駕するため、被害状況を速やかに把握して外部からの応援要請を行う、あるいはエリアからの避難・退避が必要になる。現実には、このような複雑で高度な専門性を要する対応を可能とするには、エリア内に情報共有と対応オペレーションを実施するエリア防災センターの設立と常勤職員による対応が必須になる。

さらに、水害を想定した検討例を紹介する<sup>20)</sup>。レベル1は、内水氾濫などの局地的、かつ床下浸水が主な被害である。原則として個別建物で対応可能であり、アンダーパスや地下街・地下室への止水や避難が主な対策となる。一方、レベル2は、洪水や長時間の集中豪雨などによりエリア内で床上まで浸水するレベルである。中高層建物では垂直避難で対応可能であるが、低層建物ではエリア内の避難建物への水平避難が必要となる。最後にレベル3は、エリア内で大規模な浸水が生じ、エリア外への広域避難が必要となるレベルである。これを実現するには現状のような基礎自治体（足立区）だけでの対応では不可能であり、避難民を受入れる自治体との調整を国や東京都の主導で行うと同時に、エリア防災センターの設置や事前・事後における具体的な行動計画（タイムライン）の整備が必須となる。

被災のレベルに応じた対応策は、東日本大震災の経験を踏まえて徐々に必要性が認識され、採用されつつある。例えば、東京ガスのBCPでは、従来は被害想定結果をもとにして全社員を復旧作業に動員する計画であったが、東日本大震災では被害地域が限定されたため、BCPが発動されなかった。このため、3段階のBCP発動レベルを設定し、被害規模に応じた対応要員の規模を柔軟に変更できる計画にした<sup>21)</sup>。また、3.1で紹介した新宿駅周辺地域における都市再生安全確保計画では、現在、上記で説明した3段階の被災レベル別の対応行動計画を検討中であり、2016年度には策定される予定である。

### 3.2.5. おわりに

特集号「巨大都市における震災・水害等の複合災害に関する課題」に関連し、震災・水害等による都市型複合災害に関して、首都東京を事例とする想定する地震と被害推定、および、都市型複合災害の現状と課題を整理し、今後に向けた対応策を紹介した。

#### 参考文献

- 1) 内閣府：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）、2013年。
- 2) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定、2012年。
- 3) 久田嘉章：想定地震・強震動予測と設計用地震動に関する現状と課題、第42回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp.85-94、2014年。

- 4) 地震調査研究推進本部：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）、2013年.
- 5) 地震調査研究推進本部：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）、2014年.
- 6) 地震調査研究推進本部：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価、2004年.
- 7) 理科年表：地震被害年代表、丸善出版、2014年.
- 8) 内閣府・首都直下地震モデル検討会：首都のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書、2013年.
- 9) 遠田晋次、首都直下で想定される地震像について、第40回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp.113-118、2012年.
- 10) 中村 操、松浦律子：1855年安政江戸地震の被害と詳細震度分布、歴史地震、第26号、pp.33-64、2011年.
- 11) 久田嘉章：大規模震災時の大都市における避難に関する課題 — 何からいつ・どこに避難すべきか、あるいは、留まるべきか —、日本地震工学会大会、DVD、2012年.
- 12) 国土地理院：デジタル標高地形図ってこんなにおもしろい！ 東京都区部編・デジタル標高地形図、国土地理院技術資料、D・1-No.455、2006年.
- 13) 東京都都市整備局：避難場所等の概要、2013年.
- 14) 新宿区・区長室危機管理課：新宿駅周辺防災対策協議会、新宿ルール、2010年.
- 15) 都市再生安全確保計画制度：都市再生特別措置法の改正、国土交通省都市局まちづくり推進課、2014年.
- 16) 足立区：足立区洪水ハザードマップ（荒川、利根川、江戸川、中川・綾瀬川、芝川・新芝川、東海豪雨相当の雨が降った場合）、2012年.
- 17) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査（第7回）、2013年.
- 18) 日本建築学会：建築の原点に立ち返る—暮らしの場の再生と革新東日本大震災に鑑みて（第二次提言）、2013年.
- 19) 日本建築学会編：逃げないですむ建物とまちをつくる～大都市を襲う地震等の自然災害とその対策～、技報堂、2015年.
- 20) 大原美保：都市における水害・複合災害のリスクと課題、「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」研究報告会・資料集、2015年.
- 21) 猪股 渉：東京ガスの地震防災対策～実効性のあるBCPによる首都直下地震への備え～、横断セッション「巨大都市で想定される様々な災害（オールハザード）の現状と対策を考える」、2015年日本地震工学会大会梗概集、DVD、2015年.

### 3.3 北千住駅周辺エリアにおける水害対策の取り組み事例

#### 3.3.1 はじめに

北千住駅周辺エリアは河川に囲まれた東部低地帯であり、軟弱な地盤に木造密集地が形成され、災害に対する危険度が高い地域である。中央にある北千住駅の一日の乗降客は約150万人であり、被災は首都圏の交通に大きな影響を与える。このエリアの住民の意識調査によると、東京湾北部地震に対して東京都の想定する震度6強以上の揺れが来ると考える割合は約半数であった。また、荒川の破堤に対してハザードマップが示す浸水深5mを知っている割合はハザードマップを確認した人の34%、確認したことがない人で17%であった。地域の防災力向上のためには、ハード的な整備とともに防災意識の向上が課題である。東日本大震災では交通機関の混乱により北千住駅周辺で約3万人の滞留者が発生した。帰宅抑制や関係機関による混乱防止の取り組みが行われているが、一挙に解決する方策は無く、様々な観点から引き続き対策が必要である。荒川の破堤では千住地域からの避難が必要である。円滑な避難には地域外の避難所、交通機関の停止までの避難完了が必要になるが、準備が整っているとは言い難い。規模は小さいがより確率の高い駅地下への浸水にも課題がある。そのため、北千住駅地下浸水対策勉強会を立ち上げ、浸水が想定される箇所や地下連結部分の把握、集中豪雨時の対応の検討、レーダ雨量計や浸水検知センサーを利用した的確な情報収集について取り組みを行っている。地震と水害とは独立した災害であるが、一つの災害によって他の災害への防御力が低下することや、想定していない被害が発生することが懸念される。従って、想定できる災害に対しては十分な備えをすることが必要である。

(本節は日本地震工学会・特別研究委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」の最終報告書の3.3節「北千住駅周辺エリアの取り組み事例」(小林 亘、大原美保、高田和幸)で構成している)

#### 3.3.2 北千住駅周辺エリアの災害に対する特徴

北千住駅周辺エリアは東京都心部から約8キロメートル北東に位置し、北側を荒川、南側を隅田川に囲まれた約5平方キロメートルの千住地域の中央に位置している。このエリアは沖積層の軟弱な土砂が堆積した東部低地帯の一部であり、大部分の地表高はおおよそTP+1.0メートル~TP-1.0メートルである<sup>1),2)</sup>。千住地域には多くの木造密集地が形成されている。そのため、都内の市街化区域の5133町丁目について、災害時の避難や消火・救助等の活動のしやすさを考慮した「災害時活動困難度を考慮した危険度」を調査した結果では、5つの町丁目がトップテン入りしている<sup>3)</sup>。なお、人口は約7万人(平成26年4月1日)である。このように、このエリアの災害に対する特徴の一つ目には東京都の中でも危険度の高い地域であることが挙げられる。図3.3.1に千住地域の地域危険度マップを示す<sup>4)</sup>。

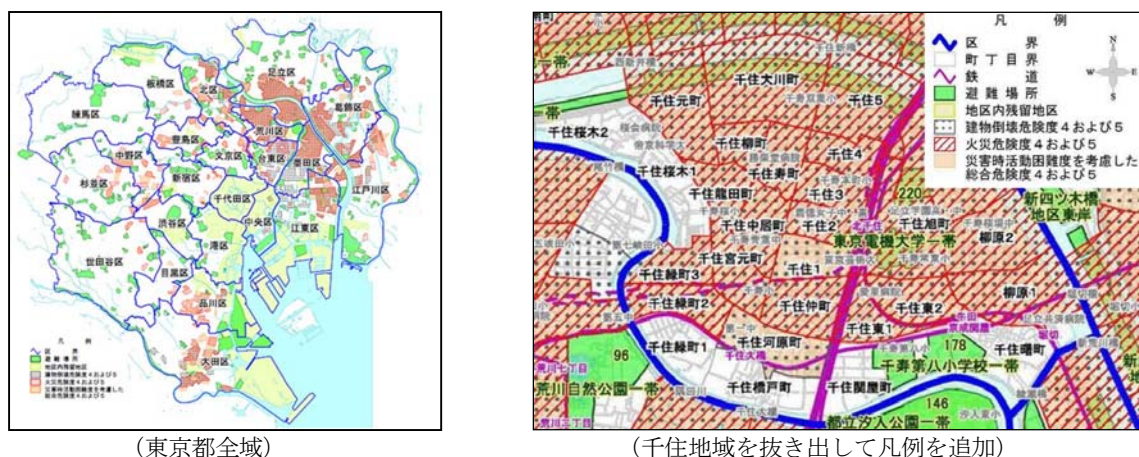


図3.3.1 地域危険度マップ

千住は江戸時代には日光街道、奥州街道の第1の宿場町として栄えた。現在、千住駅は鉄道4社5路線のターミナル駅として一日の乗降客数約150万人を数えており、世界で6番目に乗降客の多い駅となっている。このように、千住駅は首都圏の通勤・通学客に大きな役割を有する重要な交通結節点となっている。このエリアの災害に対する特徴の二つ目は、多くの人の移動に影響を及ぼすことである。

### 3.3.3 北千住駅周辺地域住民の災害に対する備えと避難意識に関する分析

北千住駅周辺地域の住民を対象とした「防災・減災に対する意識と備えに関するアンケート調査」を実施した。調査概要は表3.3.1に示す通りである。

図3.3.2は河川氾濫に対する千住地区住民の対応状況を示した図である。ハザードマップの確認においては40%を越えた方が実施している一方、防災グッズの準備、避難経路確認などは20%を満たさずほとんどの方が実施していないことが明らかとなった。

図3.3.3は、千住地区住民の荒川氾濫時を想定した際の自宅周辺の浸水深の認識である。ここではハザードマップの確認の有無別に集計を行った。荒川氾濫時には千住地区では5mを越える浸水が予想されている箇所が多いが、5m以上と回答した方は、ハザードマップを確認したことがある方で34%、確認したことがない方だと17%に留まることが確認された。また全般的にハザードマップを確認した方のほうが深く浸水すると回答されており、ハザードマップの確認が水害の危険性の認知向上に一定の役割を果たしていることが確認できた。

図3.3.4は地震に対する対応状況を示した図である。ハザードマップ・地域危険度マップについてはおよそ40%の方が確認されている一方、家具固定については30%弱、避難経路確認については20%に留まっていることが明らかとなった。

図3.3.5は、首都直下地震(マグニチュード7.3)が東京湾北部で発生した場合の自宅周辺で想定される揺れに対する住民の認知状況を示したものである。東京都は震度6強を想定しているが、市民の半数は震度6弱以下と回答している。このことから、住民が地震災害に対して過小評価していることが推察される。

表3.3.1 アンケート調査の概要

調査日時	2015年11月19日(木)～25日(水)
調査方法	ポスト投函・郵送回収
調査地区	千住4丁目、千住旭町、千住大川町、千住河原町、千住仲町、千住宮元町、千住柳町、日ノ出町、柳原2丁目、足立1丁目、足立2丁目、関原1丁目、関原2丁目
配布数/回収数/回収率	9500/397/4.2% (6560/275/4.2%) ()内は千住地区実績
調査項目	個人属性/住居の特性/河川の氾濫に対する意識・備えに/地震災害に対する意識・備え/地震災害に対する自宅内の備え/災害からの避難行動
継続調査モニター	170名 (115名) ()内は千住地区実績

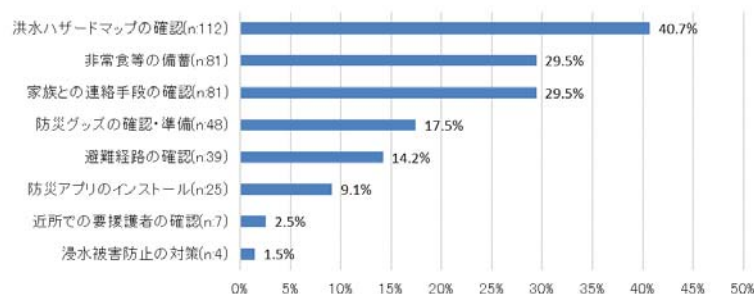


図3.3.2 河川氾濫に対する対応状況 (複数回答)

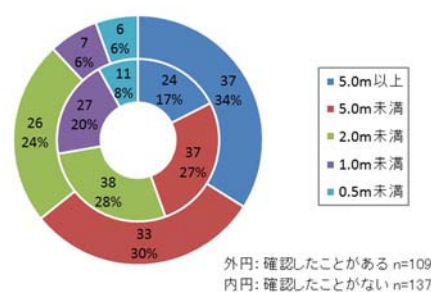


図3.3.3 浸水深の予想

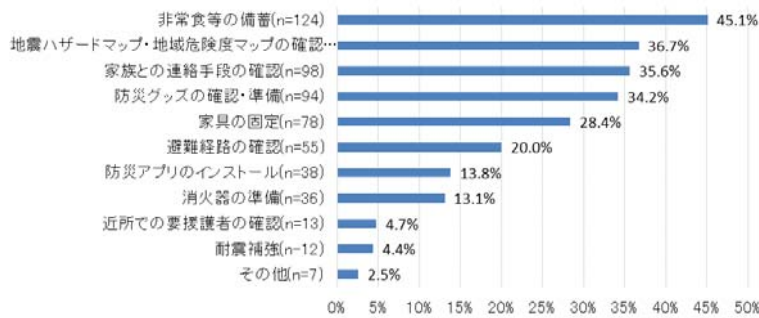


図3.3.4 地震に対する対応状況（複数回答）

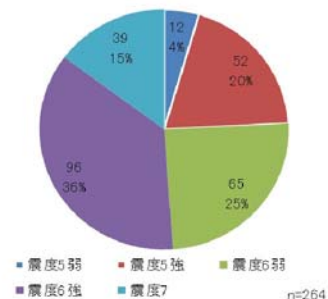


図3.3.5 震度の予想

図3.3.6は、災害の発生リスクが高まっている状況下での避難意識に関する調査フォーマットの一例である。調査では、河川氾濫のほかに、地震火災と、これらを併せた複合災害の発生を想定して回答して頂いた。

荒川の氾濫の危険性が高まった際の避難意識についての回答結果を図3.3.7～3.3.9に示す。図3.3.7は避難行動に関する回答結果である。住居種別（一戸建て、集合住宅）で集計した結果、住居種で明らかに避難行動意図が異なることが明らかとなった。次に、水平避難時の避難場所を図3.3.8に示す。学校施設、が最も高い割合を占め、区がハザードマップに明示している区外への避難は、一戸建て居住者で10%今強、集合住宅居住者で20%に留まった。最後に水平避難時の高さを階数で調べた結果を図3.3.9に示す。一戸建て居住者の多くは3階までの避難となっており、また2階までの避難となる割合も33%と高いことが明らかとなった。また集合住宅居住者においては、およそ90%の方は4階以上よりも高い階に避難する意向であることが明らかとなった。想定されている5mを越す浸水からは身を守ることができると考えられるが、非常に多くの住民が深水するエリアに取り残されることも生じうるため、適切な避難の実施が望まれる。

【状況〇】荒川流域で大雨が続いており、自宅周辺の地域に避難勧告が発令されています。

【荒川の状況】: 降雨の影響で増水しており、足立区内で堤防決壊の恐れがあります。

河川の増水状況

(Q)この時あなたは、以下の①、②、③のどの行動をとりますか？どれか1つに〇を付けて下さい。  
なお「①自宅から避難する」を選択された方は、避難場所と移動手段、「②建物の上層階へ避難する」を選択された方は、何階に避難するかもご回答ください。

① 屋外(建物の外)へ出て避難する

② 玄関を出て建物内の上層階へ避難する

③ 避難しない(自宅内に留まる)

避難する場所の具体的な名称 ( )

移動手段(①徒歩 ②自転車 ③バイク ④バス ⑤鉄道 ⑥自動車)

( )階へ避難する

図3.3.6 避難に関する調査フォーマットの例（河川氾濫の恐れがある場合）

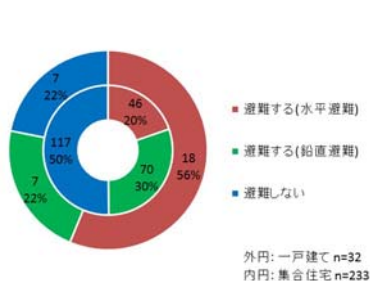


図3.3.7 避難の方法

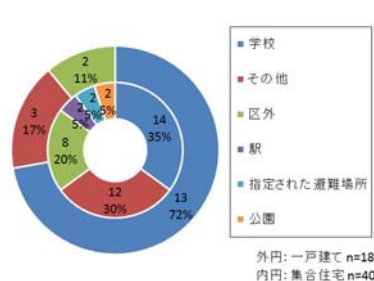


図3.3.8 水平避難時の避難場所



図3.3.9 垂直避難の高さ



### 3.3.4 北千住駅周辺エリアにおける地震への取り組み

地震について地域の観点と交通結節点の観点から下に示す。

#### (1) 北千住駅周辺エリアの街並みと災害への対応

北千住駅周辺エリアは、国道4号線に至る西口と、東京電機大学の移転とともに再開発された東口に分けられる。西口には、北千住駅と駅に接続した大規模な構造物があるが、その周辺には老朽化した小さな飲食店等が立ち並ぶ路地が存在する(写真3.3.1)。飲食店は、地下鉄千代田線の北千住駅の開業(1969年)を契機として営業が始まったものが多く、昭和のレトロな雰囲気を醸し出している。それゆえに、建物と道路の防災性は低いと言わざるを得ない。また、東口、西口の商業地域の裏手は住宅地であり木造家屋が密集している。

防災対策としては、これらの老朽化した建物の耐震、耐火性能を向上させることが課題となるが、住民の高齢化が進んでいることなどから、ハード的な対策は進んでいるとは言い難い。ソフト的な対策としては防災訓練や防災への意識の向上が考えられる。これに対して、足立区により地域の小中学校等を利用した啓蒙活動が実施されている<sup>9)</sup>。しかし、前節の調査によると、住民が地震災害を過小評価していることが明らかとなっており、より一層の防災意識の向上が必要である。

#### (2) 帰宅困難者への対応

東日本大震災においては多くのターミナル駅で帰宅難民者が大量に発生した。このことを教訓にして、例えば、東京都帰宅困難者対策条例の施行(東京都、平成25年4月)や大規模地震の発生に伴う帰宅困難者対策のガイドライン(内閣府、平成27年3月)などの帰宅抑制などの動きがある。また、鉄道においては災害時における鉄道の運行に関する協議会が開催されるなどしている<sup>6)</sup>。北千住駅には、常磐線(東日本旅客鉄道株式会社)、千代田線(東京地下鉄株式会社)、日比谷線(同)、東武伊勢崎線(東武鉄道株式会社)、つくばエクスプレス線(首都圏新都市鉄道株式会社)が乗り入れている。東日本大震災では北千住駅において約3万人の駅前滞留者が発生した。平成19年7月には北千住駅前滞留者対策推進協議会が設立されていたものの、帰宅困難者の駅周辺の滞留が危険な状況となり、滞留者を地域住民向けの避難所へ誘導した結果、地域住民の避難に支障を来す事態となったことが報告されている<sup>7)</sup>。足立区・北千住駅前滞留者対策推進協議会では毎年、訓練等の活動を行っている(写真3.3.2)。



写真3.3.1 北千住駅西口の飲食店街の風景



写真3.3.2 北千住駅前滞留者対策協議会の活動

このような活動によって帰宅困難者の発生に改善が見込めるものの、交通機関の運行再開には施設の点検と安全確認、電力・通信機能が欠かせず、一定時間の停止は避けられない。さらに、駅前滞留者の発生数は、車両の運行を決定する鉄道各社の指令所間の連絡調整、乗客の対応を行う鉄道各駅の状況、駅周辺の商業施設等の対応が関係する。このため、帰宅困難者の課題は解決されたとは言い難い。

北千住駅では駅前滞留者を荒川河川敷へ誘導することとなっている<sup>8)</sup>。しかし、誘導先は駅からの距離があること、屋外であること、河川敷であるため降雨時あるいは津波の遡上が予想される状況下では誘導に不安が生ずるといった問題がある。他方で、滞留者を引き受ける事業者を増やす努力も続いているが、受け入れ側に、受け入れ方法が分からない、受け入れ側に生ずる責任に不安がある、といった声を聞く。このため受け入れ側の負担や責任を回避する工夫が必要である。都市部の他のエリアと同様に、千住地域においても大量の帰宅困難者を受け入れられる安全で駅から近く広いといった理想的な空間は無い。したがって、各事業所や鉄道による発生の抑制、分散収容先の確保とそのための情報連絡、制度的な支援などの様々な分野において引き続き帰宅困難者の課題に取り組む必要がある。

### 3.3.5 北千住駅周辺エリアにおける水害への取り組み

北千住駅エリアの水害の検討に当たっては、下に紹介したもの以外に内水氾濫<sup>9)</sup>、津波の遡上<sup>10)</sup>、高潮<sup>11)</sup>、地震による堤防の損傷<sup>12)</sup>についても検討を行った。ここでは、リスクの大きさから次の2つを取り上げる。

#### (1) 外水氾濫

北千住駅周辺エリアを取り囲む河川のうち、隅田川、旧綾瀬川については水位が上昇した場合には、河川管理規則により荒川からの流入を停止させるとなっている<sup>13)</sup>。このため、外水氾濫の対象を荒川に絞る。荒川の破堤のシミュレーションに基づく洪水ハザードマップ(図3.3.10)によると、千住地域の大部分は5メートル以上の浸水となる<sup>14)</sup>。そして、図3.3.10のように北区、台東区、文京区方面への避難が必要とされているが、避難には限られた道路と鉄道に依らざるを得ない。国土交通省荒川下流河川事務所では平成26年8月から関係機関と荒川タイムライン(事前防災行動計画)検討会を実施している。平成27年5月に公表された試行案、住民避難に着目したタイムライン(足立区:千住)では、避難勧告の公表は破堤の5時間前、避難指示は2時間前となっている<sup>15)</sup>。避難には、域外の避難場所の確保調整と住民への連絡、正常化バイアスを持つあるいは移動が困難な住民が避難しないことへの対応、交通機関自体の避難が必要な中での避難の完了など多くの課題がある。

1947年に埼玉県、東京都に大きな被害をもたらしたカスリーン台風の対応では、内務省、東京都知事等の協議により、GHQの管理下にあった火薬を用いて江戸川の堤防が爆破され氾濫流を江戸川へ誘導した<sup>16)</sup>。荒川の破堤に対しては国家的な見地から事前の広域調整が必要である。



図3.3.10 足立区洪水ハザードマップ(荒川がはん濫した場合)  
北千住駅周辺エリアを抜き出して凡例を追加

## (2) 地下空間への浸水

地下街、鉄道の地下部分、地下通路等では浸水が懸念される。例えば、2012年のハリケーン・サンディでは地下鉄への浸水により全線が復旧するまで9日間を要した。平成25年の水防法の改正では、浸水想定区域内の地下街において、避難確保計画の作成と並んで浸水防止計画の作成、訓練の実施が義務化された。さらに平成27年の改正では、避難確保・浸水防災計画の作成の際に、接続ビル等の所有者・管理者の意見を聴く努力義務、想定し得る最大規模の水害への対応が課された。北千住エリアでは、地下鉄千代田線と東武線と2つの商業施設が地下で連絡しており、足立区地域防災計画（風水害編）において北千住の3つの施設が水防法の地下街等に該当するものと指定されている<sup>17)</sup>。

外水氾濫への対応は河川管理者である行政が行うのに対して、地下空間への浸水への対策は各施設の管理者に委ねられている。このため、関係する機関へ取り組みの現状について聞き取り調査を行った。その結果、(a)民間の事業者同士では情報の交換がしにくいこと、(b)浸水対策に専門的アドバイスが必要であることが分かった。このようなニーズを受けて、北千住駅地下水害対策勉強会を始めることとし平成27年12月に第一回の会合を行った。構成メンバーは、足立区、地域の事業者（鉄道4社、商業施設2社）、研究機関（東京電機大、土木研究所、産業技術総合研究所）、オブザーバ（国土交通省、工学院大）である。現在、①～③の取り組みを行っており、最終的にはこの地域の地下への浸水の対策の具体的な考え方と方法をとりとめたい。

### ① 地下・地上空間の把握

地下空間は立体的な構造になっており、土地の所有者、施設の管理者、施設の利用者が異なり、事業の進展に伴って増設が行われた結果、全体像を把握することが容易ではない。まず、地下空間の接続状況、地上に対する開口部、時間帯毎の管理状況の把握を行った。

### ② 浸水時の対応シナリオ

浸水への対応計画を有する事業者、有しない事業者の豪雨時への対応を具体的に把握し、しかもそれらを北千住駅全体の動きとして俯瞰したいと考えた。そのため、東海豪雨時の状況（降雨、気象警報）を付与条件として、各事業者の対応のシナリオを聞き取り調査した。調査は事業者毎に研究者が聞き取りをしながら行った。項目は、情報の入手、浸水防御措置、関係機関（他の事業者、事業者内の上部機関、行政）・利用者との連絡などである。図3.3.11にシナリオに用いた条件を示す。

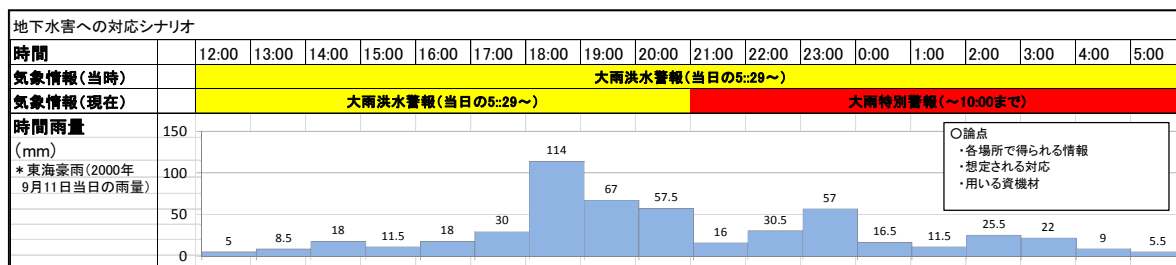


図3.3.11 シナリオに用いた条件

### ③ ITによる対応支援

地下空間への浸水では、災害対応専門の部署を有しない事業者であっても、急な豪雨へ対応しなければならないことがある。このため、情報収集の支援として次のツールの開発を進めている。地下空間の管理者は通常のルーティン業務に加えて降雨だけでなく様々な突発事象へ対応することが必要である。このため、ツールの開発においては利用者には負担のかからないものとしている。

#### (a)局地的雨量警報メールシステム

千住地域の雨量を地上で観測する手段は、東京都の雨量観測所1箇所（第六建設局）に限られている。このエリアの雨量をピンポイントで把握し、メールでPush送信すれば、インターネットサイトに定期的にアクセスするなどの手間をかけることなく空振りも見逃しも防いで対応ができる。そのために、250m区画で雨量を観測できる国土交通省XバンドMPレーダ雨量計を活用したメールシステムを構築中である（図3.3.12）。

### (b) 浸水検知センサーシステム

浸水は、降雨だけではなく、地表高と地形と流出状況、雨水の排水能力などによる。このため、地表の浸水状況を把握するために浸水検知センサーを重要な箇所を設置すべく準備を進めている。



図3.3.12 局地的雨量警報メールシステム

### 3.3.6 複合災害

相模トラフ沿いのプレートの沈み込みによるM7程度の地震の平均発生間隔は27.5年とされている<sup>18)</sup>。他方、東京管区気象台(大手町)の確率降水量は、年超過確率1/20では75.4ミリ(1時間)、253.0ミリ(24時間)である。これは毎年1/20の確率(平均的に20年に1回の確率)で1時間に75.4ミリ以上、24時間で253.0ミリ以上の降水量が起り得ることを示している。東京都では平成26年の東京都豪雨対策基本方針の改定において、おおむね30年後に年超過確率1/20に対して床上浸水を防止することを目指している<sup>19)</sup>。なお、平成19年8月の東京都豪雨対策基本方針では対策促進エリアにおいておおむね55ミリの降雨までは床上浸水等を可能な限り防止することを10年後の目標としていた(東京管区気象台の確率降水量は年超過確率1/5のとき1時間55.6ミリ)。地震と水害は独立した事象と考えられるため、同時確率はその積で求められることとなる。しかし、地震によって堤防の沈下や液状化による下水道管路の損傷が発生した場合には、水害に対する防御力は低下することとなる。また、水害による電力設備へのダメージあるいは地震によるモータ軸の損傷によって、排水ポンプの機能が損なわれれば、やはり水害への防御力は低下する。都市部では多くの構造物・施設・設備の組み合わせによって災害に備えているため、いずれかの機能の停止や低下によって、通常では災害が起きない発生確率の高い少ない降雨によっても被害をこうむる可能性が生ずる。

これまでの大きな地震災害での被害を死因の観点から見ると、関東大震災では焼死が、阪神淡路大震災では建物の倒壊による圧死が、東日本大震災では溺死が多くを占めた。また、原子力発電所の事故が今も社会に大きな影響を及ぼしている。このように、新たな弱点に起因する問題に対応するためには、単独の災害に対して十分な事前の対策を講ずること、様々な可能性を考慮すること、柔軟に対応する余力を持つことが必要である。

### 3.3.7 総括

日本の都市圏の多くは大河川の氾濫域かつ沿岸部に形成され、ゼロメートル地帯等の危険な地域も多い。都市では空間の高度な利用が進み、地下空間に建設された地下鉄・地下街、ビルの地下の電源設備や非常用発電機等が都市の機能を支え、道路ではアンダーパスや地下トンネルが多量のトラフィックを捌いている。また、地上では大規模な住居施設に多数の居住者が生活している。都市内にはこのような弱点が散在しているながら、発災時にはその受け皿となる余裕空間が無く、避難者の問題をはじめとして様々な問題が露呈する可能性が懸念される。また、都市圏のゼロメートル地帯では、ひとたび水害が発生すると排水に時間がかかり、湛水の長期化による影響拡大やこれらによる経済活動への深刻な影響も

懸念される。北千住と同様の課題を抱えるエリアにおいて北千住の取り組みが参考となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 東京都江東治水事務所：東京の低地の概要、<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/chisui/jigyuu/teichi.html>、2016.2.1.アクセス
- 2) 国土地理院：数値地図（国土基本情報）5m DEM標高による
- 3) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査（第7回）（平成25年9月公表）、足立区、[http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa\\_6/21adachi.htm](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/21adachi.htm)、2016.2.25.アクセス。
- 4) 東京都市街地整備部防災都市づくり課：地域危険度マップ、[http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa\\_6/chiikikiken.htm](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/chiikikiken.htm)、足立区、[http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa\\_6/download/21\\_adachi.pdf?1309](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/download/21_adachi.pdf?1309)、2016.2.25.アクセス。
- 5) 足立区危機管理室災害対策課災害対策係：避難所運営訓練実施一覧、<https://www.city.adachi.tokyo.jp/saigai/bosai/bosai/kehatsu-kunren5.html>、更新日：2016年2月5日
- 6) 国土交通省：首都圏の交通への影響とその後の取り組み、<http://www.mlit.go.jp/common/001088038.pdf>、2016.2.25.アクセス。
- 7) 足立区・北千住駅前滞留者対策推進協議会：北千住駅周辺地域 都市安全確保促進計画（平成25年12月18日）、[https://www.city.adachi.tokyo.jp/saigai/documents/area\\_bousai.pdf](https://www.city.adachi.tokyo.jp/saigai/documents/area_bousai.pdf)、北千住駅周辺地域 都市安全確保促進事業の概要、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/toshisaisei/yuushikisya/anzenkakuho/140730/shiryuu3.pdf>、2016.2.25.アクセス。
- 8) 足立よみうり新聞：「北千住ルール」の改善点は？～震災時の北千住駅前滞留者訓練も、<http://www.yomi.co.jp/chiku05/detail.php?eid=01590>、2009/11/21、2016.2.25.アクセス。
- 9) 足立区：洪水ハザードマップ～東海豪雨相当の雨が降った場合～、<https://www.city.adachi.tokyo.jp/kikaku/bosai/bosai/documents/2-3tokai-gou.pdf>、更新日：2014年11月12日
- 10) 東京都総務局総合防災部：南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定（平成25年5月14日公表）第2部3-1対象地震、3-6津波高及び津波浸水の分布、2013.5
- 11) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」：大規模水害対策に関する専門調査会報告「首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～」、2010.4
- 12) 東京都建設局：東部低地帯の河川施設整備計画、平成24年12月27日、2012。
- 13) 東京都建設局河川部：東京都水防計画、<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kasen/suiboukeikaku/>、平成27年4月15日
- 14) 足立区：洪水ハザードマップ～荒川がはん濫した場合～、<http://www.city.adachi.tokyo.jp/kikaku/bosai/bosai/documents/2-7arakawa.pdf>、平成26年4月版。
- 15) 国土交通省荒川下流河川事務所：資料4-1荒川下流タイムライン（試行案）（住民避難に着目したタイムライン／足立区・千住）、[http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000629252.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000629252.pdf)、2015/5/25、荒川下流タイムラインの概要、第三回検討会（H27.5.25）、[http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000622887.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000622887.pdf)
- 16) 内閣府防災：災害教訓の継承に関する専門調査会報告書1947カスリーン台風、<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1947-kathleenTYPHOON/>、2016.2.25.アクセス。
- 17) 足立区：足立区地域防災計画（風水害編）、<https://www.city.adachi.tokyo.jp/saigai/bosai/bosai/taisaku-bosai/osaikakaku.html>、pp.104、更新2015年6月30日
- 18) 地震調査研究推進本部：今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧（平成28年1月13日現在）、<http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf>。
- 19) 東京都都市整備局・建設局・下水道局：「東京都豪雨対策基本方針（改定）」の策定について、<http://www.metro.tokyo.jp/INET/KEIKAKU/2014/06/70o6u100.htm>、平成26年6月30日発表。

## 4. シミュレーション普及部会

### 4.1 目的と成果概要

シミュレーション普及部会では、避難対策を検討する手段やリスクコミュニケーションの手段としての避難の数値シミュレーションに着目し、その普及のための事例研究を行うことを目的としている。その活動の一つとして、『避難シミュレーション』マニュアルを作成し、避難の数値シミュレーションの検証と妥当性確認の具体案を提示した。

避難の数値シミュレーションは発展途上であり、さまざまな目的をもって開発された多数のプログラムがある。過剰な期待がある一方で、シミュレーション結果の信頼性に否定的な見解も多い。しかし、数値シミュレーションは道具であり、その性能を見極めて正しく使えばよいものである。期待を持つことも信頼しないということも、元来は馴染まない。むしろ、優良な道具を選定することが重要である。このため、前述の検証と妥当性確認は、道具として、最低限の性能（品質）を保証するために行う作業である。

上記の背景のもと、シミュレーション部会では、2015年から『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』を企画した。これは、参加機関を募り、作成した『避難シミュレーション』マニュアルに従って、研究や実務に使われている数値シミュレーションの検証と妥当性確認を行った。

### 4.2 避難シミュレーションの品質保証方法の検討

#### 4.2.1 企画の背景 – プログラムの品質保証の考え方

一般のプログラムは、要求分析・仕様記述・実装・評価というルーチンを利用してその品質が保証される。保証される品質は、最高水準の品質ではなく、一定の品質である。同種のプログラムの中から適切なプログラムを選択する際、保証された品質が目安となる。また、品質そのものも抽象的であり、プログラムの目的にあった品質が設定される。

自然科学計算のプログラムでは、物理モデルから導出された数理問題を解くという明確な要求があるため、上記のルーチンが意識されず、品質保証という概念は馴染みがない。しかし品質は明確であり、プログラムの予測精度である。近年、上記のルーチンを意識して、自然科学計算の品質を保証することが重視されるようになってきた。

避難シミュレーションのプログラムは、自然科学計算のような明確な数理問題が設定されている訳ではなく、一般のプログラムに近い。品質保証のため、要求分析・仕様記述・実装・評価というルーチンを使いやすい。一方、避難シミュレーションの主な対象は人・自動車の移動である。これは距離・速度・時間を使った数理問題として設定できる部分が多い。したがって、自然科学計算のプログラムのように、品質の具体的な指標として避難時間等の予測精度を使うことも可能である。

一般のプログラムと自然科学計算のプログラムの間に位置するという、避難の数値シミュレーションのプログラムの特質を考慮し、品質保証に関して次の三つの大枠を設けた。

- 1) 品質保証の手順の大枠としては、一般のプログラムに準じて、検証（verification、所定アルゴリズム通りに基本的動作が実行されること）と妥当性確認（validation、設定したルール、モデルが実現象に即していること）の二段階とする。
- 2) 検証に関しては、自然科学計算のプログラムのように、移動を時間・速度・位置といった定量的指標で記述し、理論値とシミュレーション値の比較を行う。
- 3) 妥当性確認に関しては、2011年東日本大震災の実際の津波避難を模擬したシミュレーションを行い、避難手段や避難の起点・終点ごとに区分した避難完了時間の参照解と比較する。

検証の具体的な項目は、①発生（徒歩・車両共通）、②移動速度（徒歩・車両共通）、③経路選択（徒歩・車両共通）、④避難路が移動速度に与える影響（徒歩のみ）、⑤周囲との相互干渉（徒歩・車両）である。妥当性確認で使われる参照解は、シミュレーション部会で行った、4つのプログラムを使ったシミュレーション結果を基に作成されている。4つのプログラムは、上記の検証を部会内で厳密に行ったもの

である。最善の努力を払って作成された参照解であるが、その信頼度を定量的に決定することは難しい。このため、妥当性確認の目安として、参照解と倍・半分以下の違いであれば妥当とすることを提案している（4つのプログラムの解の差は概ね20%以下である）。

#### 4.2.2 企画の経緯

『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』では、2015年8月から地震工学会のホームページに参加を募る呼びかけを掲載した。この他、シミュレーション部会のメンバーの人的ネットワークを使って協力を要請した結果、最終的に9機関のご協力を得ることができた。協力していただいた機関に対しては、妥当性確認に必要な群集避難シミュレーションの設定情報を提供した後、2か月を目途として検証と妥当性確認を行っていただいた。2016年4月現在、6機関から検証と妥当性確認の結果を提出していただいている。

妥当性確認と比較すると、検証は単純な作業である。レポートを提出した6機関全てが、この検証を行った。妥当性確認には相応の作業が要求された。これは群集避難の場所（道路網、避難の起点・終点）や徒歩・車両を使う避難者の設定が必要となるからである。レポートを提出した6機関の内、4機関のみ、妥当性確認を行った。

妥当性確認は、自然科学計算のプログラムで行われるブラインドテスト（シミュレーションによる実験結果の再現を目的。構造実験の場合、供試体の寸法、材料、荷重等、実験条件を提示するが、実験結果は伏せる。シミュレーション結果と実験結果の比較から、シミュレーションを行ったプログラムの性能ないし精度を検証）に類似している。しかし、自然科学計算とは異なり、避難の数値シミュレーションは共通の数理問題がない。すなわち、個々の数値シミュレーションが独自の数理問題を解くことになり、提供された群集避難シミュレーションの設定情報を、数値シミュレーションに合わせて解釈し、適切な入力データに変換しなければならない。ブラインドテストに比べ、妥当性確認は容易ではない。

#### 4.3 Validation とVerification の公募と評価

##### 4.3.1 総評

前述のように、2016年4月現在、『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』に参加して下さった6機関から検証と妥当性確認の結果が提出されている。提出された結果は、『避難シミュレーション』マニュアルに指定された形式で、検証と妥当性確認をレポートとして整理されたものである。なお、『避難シミュレーション』マニュアルでは、検証と妥当性確認に関する記載項目は明示しているものの、レポートのフォーマットは示していない。このため、提出されたレポートの量と質は完全には一定ではなかった。しかし、シミュレーション部会で意図した項目は網羅され、さらに、優良なレポートの量と質は概ね意図していたものとなっている。

以下、6つのレポートに対し、シミュレーション部会が行った講評を整理したものである。講評では、レポートを精読し、『避難シミュレーション』マニュアルや他のレポートと比較して、検証と妥当性確認それぞれに対し、「マニュアルに沿った作業が行われたか否か」という観点で可否を判定した。ご協力をいただいた機関の数値シミュレーションやそのプログラムに対して、可否の判定を付けた訳では決してないことを強調する。あくまでも、行っていただいた検証と妥当性確認の作業がシミュレーション部会で提案した『避難シミュレーション』マニュアルに沿ったものであるか否かを判定したのである。結果を表4.1に示す。

表4.3.1 検証と妥当性確認の判定

参加機関	検証	妥当性確認
(株)アイ・トランスポート・ラボ	可	可
パシフィックコンサルタンツ株式会社 都市・環境事業本部 交通政策部	可	可
日本工営株式会社 地盤環境部	可	可
宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科	可	可（車両のみ）
徳島大学大学院理工学研究部総合技術センター	可	－
応用技術株式会社 エンジニアリング本部 国土基盤情報部 社会マネジメントグループ	可	－

「マニュアルに沿った作業が行われたか否か」という観点で可否を判定 ーはレポートに記載なし

#### 4.3.2 検証

6つの参加機関全て、『避難シミュレーション』マニュアルに沿った検証を行って下さった。『避難シミュレーション』マニュアルに沿わなかった検証とは、検証に設定された事項を行っておらず、独自に設定した事項を吟味したことを意味する。『避難シミュレーション』マニュアルの検証に設定された①発生、②移動速度、③経路選択、④避難路が移動速度に与える影響、⑤周囲との相互干渉は、避難の数値シミュレーションを実施する上で、不可欠とは言わないまでも、実装されることが重要な機能である。可と判定されたレポートでも、数値シミュレーションに実装されていない項目が一つあるものがあった。しかし、この5つの項目の内、半数以上が実装されていないことは、避難の数値シミュレーションとして、適切な品質を保証することは難しいかもしれない。なお、『避難シミュレーション』マニュアルでは、検証に関して独自に設定した事項を吟味することは推奨している。『避難シミュレーション』マニュアルに設定された機能に比べて、より高度な機能を有している数値シミュレーションは好ましいと考えているからである。独自に設定した事項は設定された5つの項目の中の一つを拡張した事項となっており、設定された項目の高度な代替として実装されていると想定している。

4.2.1 企画の背景で説明したように、避難の数値シミュレーションの検証は、自然科学計算のプログラムの検証に準拠している。『避難シミュレーション』マニュアルの5つの検証項目は、全て、時間・速度・位置といった定量的指標で記述できるとしており、理論値とシミュレーション値の比較を行うことを要求している。この比較は、プログラムに誤り（いわゆるバグ）がないことを調べることにもなる。したがって、理論値とシミュレーションが完全に一致することが前提である。完全に一致しない場合、プログラムに誤りがあることや、アルゴリズムが不完全であることが懸念されるからである。

数値シミュレーションによっては、時間・位置の変数に整数を割り当てることもある。この場合、実数となる理論値とシミュレーション値は異なる。シミュレーション部会で行った講評では、変数に整数を使った結果、生じた理論値とシミュレーション値の差は問題がないと判定している。時間や位置は、秒ないしメートル単位であるため、1秒や1メートルの差が避難シミュレーションに及ぼす影響は極めて小さいと考えられるからである。繰り返しになるが、理論値とシミュレーション値の違いは、その原因がプログラムに誤りがある可能性が考えられる。したがって、理論値とシミュレーション値は完全に一致することが前提となる。変数を整数としたために生じる理論値との差は、プログラムの誤りではないため、問題がないと判定している（より厳密に理論値を定義するのであれば、シミュレーションで得られる解が理論値であり、変数に整数を使う場合の理論値を整数にすることは、検証の一策となる）。



### 4.3.3 妥当性確認

レポートに妥当性確認を記載して下さった4つの機関は、全て、『避難シミュレーション』マニュアルに沿った作業を行って下さった。また、『避難シミュレーション』マニュアルの参照解との差も倍半分以下であった。なお、津波からの避難は徒歩が原則であり、避難の数値シミュレーションも徒歩の機能があることを想定していた。1つの機関のレポートでは、使用した数値シミュレーションに徒歩の機能がなく、車両の避難に対してのみ妥当性確認の結果が記載されていた（シミュレーション部会では、避難の数値シミュレーションは徒歩の機能を原則、徒歩と車両を混在させる機能は高度な機能という位置付けを考えていた）。

シミュレーション部会で実施した4つの数値シミュレーションを含めると、8つの数値シミュレーションが、『避難シミュレーション』マニュアルで設定された妥当性確認の群集避難の問題に対し、概ね一致する解を出していることは重視したい。設定された群集避難の問題は、実際の群集避難の行動を基にしたもので、決して簡単なものではない。道路網の形状も相応に入り組んでおり、避難の起点・終点も複数である。避難手段も徒歩と車両の二つが設けられており、外出住民の車一時帰宅避難（シナリオ3）、通過車の避難（シナリオ4）、大事業所からの避難（シナリオ5）という特殊なシナリオに対する避難状況もシミュレーションすることとなっている。妥当性確認の目的である、設定したルール、モデルが実現象に即していることは十分確認され、避難のシミュレーションとして一定の品質が保証されたと考えることができる。

### 4.3.4 おわりに

本報告は、シミュレーション部会で実施した『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』に関し、その背景・経緯を整理し、参加して下さった6機関の検証と妥当性確認の講評を記したものである。表4.3.1に示すように、6機関の検証が可、4機関の妥当性確認が可という結果となった。妥当性確認が可とされた4機関の結果は、シミュレーション部会で作成した参照解との差が倍・半分以下であり、使用したシミュレーションそのものの妥当性も伺える。

プログラムの品質保証は重要課題である。プログラムが実行するシミュレーションが道具として正しく使われるためには、まず、道具そのものの品質が保証されなければならない。『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』に参加して下さった機関の数値シミュレーションに関しては、シミュレーション部会が作成した『避難シミュレーション』マニュアルに沿った検証と妥当性確認が行われたことで、一定の品質があることが保証されたものと考えている。

『避難シミュレーション』マニュアルは、地震工学会のホームページに公開されている。避難の数値シミュレーションの品質を保証するために、このマニュアルが利用されることを願っている。『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』の講評の結果と提出されたレポートの優良なものを日本地震工学会のホームページの研究委員会のサイト等で公開する予定である。実際に検証と妥当性確認を行う機関は、是非、この講評の結果とレポートとを参考して、数値シミュレーションの検証と妥当性確認の自己評価を行っていただければ幸いである。

### 参考文献

- 1) 堀宗朗：津波避難シミュレーションのV&V、日本地震工学会、  
<http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2015/04/VV.pdf>
- 2) シミュレーション部会：した『群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認』 協力頂ける方の募集、<http://www.jaee.gr.jp/research/research05/>
- 3) シミュレーション部会：『避難シミュレーション』マニュアル、日本地震工学会、  
[http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2012/08/VV\\_manual\\_v3.pdf](http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2012/08/VV_manual_v3.pdf)

## 避難シミュレーションにおける品質保証の現状と今後の展望

### 要約

近年、津波避難シミュレーションが避難計画の検討に活用される機会が増えてきたが、現状ではシミュレーションの結果の精度・信頼度には常に疑問が残されている。避難シミュレーションの品質保証のため、本研究は、避難シミュレーションの品質に関する基本的な考え方を示し、それに基づいた品質保証の具体的な方法を提案する。これは、数値シミュレーションでは標準である、検証と妥当性確認という二段階の手順をとる方法である。実際に4種類の避難シミュレーションに対して、提案方法を適用し、品質保証の検証を試みた。この結果、提案方法が齟齬・支障なく適用できることが確認された。

キーワード：津波避難シミュレーション、品質保証、Verification、Validation、津波

### 1. はじめに

大地震発生後に津波の発生が予想される地域では、さまざまな事態を想定し、住民等の避難の状況を評価することが必要となる。さらに、評価の結果、円滑な避難を阻害する要因を抽出することが必要となる場合もある。状況評価や要因抽出のためには、大地震発生後の人々の避難の状況を客観的に予想することが第一歩となる。勿論、実際に発生する大地震や津波を正確に予測することは難しく、一つまたは複数の地震・津波のシナリオを想定し、この想定に基づいた状況評価や要因抽出が必要となる。

避難状況と要因抽出を客観的に行う道具として、大地震発生後の避難状況をコンピュータ上で再現・予測する津波避難シミュレーションが開発されている。道具である以上、その品質、すなわち、シミュレーションの結果の精度や信頼度を保証することは必須である。一般のプログラムでは、通常、品質保証の方法として検証と妥当性確認 (Verification and Validation、以下、V & V) が行われる<sup>例え(ば)</sup>。これに倣って、本論文では、避難シミュレーションのV & Vを提案する。

物理モデルに基づく数理問題を解析する自然科学シミュレーションでは、V & Vは明確である。それぞれ、数理問題を正しく解くこと、正しい数理問題が解かれていることに対応するからである。一方、避難シミュレーションのような社会科学シミュレーションでは、モデルと数理問題が必ずしも明確には記述されないことが多い。品質保証を行う際、この点はボトルネックとなる。本論文はこの点を重視し、合理的なV & Vを提案する。

本論文は以下のように構成される。第2章において、避難シミュレーションの品質とV & Vに関して基本となる考え方を提案する。この考え方にに基づき、第3章と第4章において、具体的なV & Vの内容を提案する。第5章では、複数の避難シミュレーションに対して、品質保証を検討した実例を示す。結論を第6章で整理する。

### 2. 避難シミュレーションの品質とV&V

シミュレーションの品質は、対象とする現象を所定の精度で再現・予測できることである。自然科学シミュレーションでは品質保証の方法は実験結果の再現と考えられがちであるが、これは短絡的である。プログラムのバグが顕在化しなかった場合、別の実験結果の再現には失敗する場合、等々の場合がある。特定の実験結果の再現は必要条件であり、品質保証の十分条件ではない。

避難シミュレーションの場合、設定条件等が明確な実験を行うことはできない。そもそも全く同じ条件でも、全住民が全く同一の避難行動をとるという再現性がない。避難シミュレーションの目的である状況評価と要因抽出のためには、住民一人一人の特定の避難行動ではなく、いろいろな条件下でも共通して現れるような、住民全体の避難行動の特徴をシミュレーション対象とすることが考えられる。したがって、品質はこの住民全体の避難行動の特徴を所定の精度・信頼度で再現・予測することである。

上記の品質を保証する手段として、避難シミュレーションのV & Vには独自の工夫が必要である。明確には意識されていないものの、コンピュータを使う以上、避難シミュレーションも計算できる問題を解いている。この問題は一人の人間の避難行動に関わるものである。したがって、最初のVである検証では、人の避難行動が、文字通りプログラム通りに動いていることを検証することが自然である。具体的には、基本的な避難行動である一定速度の避難、経路選択、追い抜き等に対して、設計通りにプログラムが動くことを確認することである。

二番目のVである妥当性検証では、住民全体の実際の避難行動を所定の精度で再現することが自然である。過去の避難事例において、住民一人一人の継時的な避難行動を網羅したデータはない。そもそも一人一人の行動に完全な再現性がないことを考えると、適当な数の集団の避難行動を再現の対象とすることが現実的であろう。状況評価と要因抽出という避難シミュレーションの目的を考えると、集団の避難行動としては「地震発生後、何分で何人が避難を完了したか」を計算することが重要である。すなわち、避難完了の推移を妥当性確認の具体的な対象とすることが適当である。

### 3. 避難シミュレーションのVerification

#### 3.1 Verification（検証）の概要

Verification（検証）は、シミュレータが、シミュレーションに活用する基本的な数理問題を正しく解いているか否かをテストするものである。この検証は、数理問題の解法をシミュレータに実装する段階における品質を保証する目的として定義される。避難シミュレーションにおいては、避難者のシミュレーションモデルが、設定された数式等に応じて正しく挙動するかをテストする。したがって、Verification（検証）のための数値実験では、比較的簡単な状況を想定することとした。本Verification（検証）においては、避難者の挙動を表す具体的な指標を設定し、設計された通りの正しい挙動から導かれる理論値と、数値実験の計算結果が一致することを確認することを検証結果の指標とした。

#### 3.2 Verification（検証）の対象となるシミュレーションモデルの要因

避難行動を目的とするシミュレータは世の中に複数存在するが、それらのプログラムに内在する、様々な要因によってそれぞれが異なる挙動を示し、最終的には異なる結果を出力する。一般的に指標とされやすいのが「避難完了の推移」「避難完了の時間」であるが、シミュレータ同士による計算結果の違いは、シミュレーションモデルの差異による影響が大きい。したがって、今回、津波避難シミュレーションに適用するVerification（検証）においては、基本的な計算結果として用いられる「避難完了の時間」を取り上げ、それに対し影響が大きいと思われる要因に焦点を絞った。選定された要因と、その選定理由を表1に示す。

表1 Verification（検証）の対象となるシミュレーションモデルの要因と選定理由

シミュレーションモデルの要因	選定理由
避難者の発生	津波避難に関して、地震発生直後に避難を開始する人、しばらく様子を見てから出発する人等、状況によって出発時間は異なる。また、避難者によって地震発生時にいる場所は異なる。避難者の出発時間および出発位置は、避難路の混雑および避難完了時間に影響する。
避難者の移動速度	避難者の移動速度は避難者の個人属性によって異なる。移動速度は避難完了推移に直接影響する。
避難者の避難路選択	同一の道路ネットワークにおいても、避難経路の選択方法に応じて、避難者が利用する避難経路が変わることになる。避難経路によって移動距離が異なるため、避難経路選択は避難完了時間に直接影響する。
避難路の状態による移動速度の変化	徒歩での避難の場合、坂道や階段など道路の状態によって移動速度が異なる。この結果、滞留や移動速度低下が発生するため、避難完了時間に直接影響する。
避難路の混雑による移動速度の変化	合流等の避難路のトポロジーによって、また、避難路の幅等の交通容量によって、避難路の一部が混雑することがある。混雑は避難完了の遅れにつながる。

### 3.3 Verification（検証）における検証項目

津波避難シミュレーションにて考慮すべき要因と検証項目を表2のように整理した。なお、今回のVerification（検証）において避難者が避難する手段としては「徒歩」と「車両」の2つの方法を対象とした。また、表3に検証項目とその指標を整理した。

### 3.4 Verification（検証）における検証手順

今回のVerification（検証）を実施するに当たっては、次のような検証手順を設定した。

- ① 検証項目に対応するシミュレーションモデルの要因を説明する。アルゴリズム、出典等も記述する。
- ② 検証に使われた避難者と避難経路の設定条件を記述する。例えば、避難者の移動速度や避難経路のネットワーク構造を記述する。
- ③ 設定条件での、シミュレーションモデルの検証項目の理論値を計算する。
- ④ 設計条件での、津波避難シミュレーションを行い、シミュレーションモデルの検証項目の計算結果を求める。
- ⑤ 理論値と計算結果を比較し、検証および結果の評価を行う。

表2 Verification（検証）における検証項目と検証内容

検証項目	検証内容
避難者の発生（徒歩・車両）	避難者の出発時間と出発位置を設定する。避難者が、設定された通りの出発時間と出発位置から避難を開始していることを確認する。
避難者の移動速度（徒歩・車両）	避難者の移動速度を設定する。避難者が、設定された通りの移動速度で移動することを確認する。
避難者の避難路選択（徒歩・車両）	避難者の避難経路を設定する。避難者が、選択した通りの経路を利用していることを確認する。なお、避難経路をあらかじめ設定する場合の他、確率的に避難経路を選択する場合もある。この場合、所定の確率で避難経路が選択されていることを確認する。
避難路の状態が移動速度に与える影響（徒歩のみ）	道路勾配や階段等の避難路の状態によって避難者の移動速度が変化する場合、避難者が、設定された通りに移動速度を変えて移動することを確認する。
避難者と周囲との干渉（徒歩・車両）	避難路と周囲との干渉によって混雑が生じ、避難者の移動速度は低下する。混雑の具体的な発生原因には、①合流等の避難路のトポロジーによるものと、②避難路の幅員等の交通容量によるものがある。それぞれについて、設定された通りに、干渉が起こることを確認する。 なお、避難者と周囲の干渉のモデルは、①避難路上の避難者の密度のような指標を使って表現するマクロモデルと、②個々の障害物や避難者のモデルを使うマイクロモデルに大別される。トポロジーによる混雑については、マクロモデルでは考慮されないため、トポロジーによる混雑に関しては、マイクロモデルが使われる場合のみ検証する。交通容量による混雑に関しては、マイクロモデルとマクロモデルでは交通容量の取扱いが異なる。このため、検証の方法をマクロモデルとマイクロモデルに分けて記述する。

表3 Verification（検証）における検証項目と検証の指標

検証項目	検証の指標
避難者の発生（徒歩・車両共通）	避難開始時間と避難開始場所
避難者の移動速度（徒歩・車両共通）	移動速度
避難者の避難路選択（徒歩・車両共通）	経路選択のアルゴリズム
避難路の状態による移動速度に与える影響（徒歩のみ）	勾配、階段の考慮
避難者と周囲との干渉（徒歩・車両共通）	マイクロモデル：トポロジーによる混雑と交通量による混雑 マクロモデル：交通量による混雑

#### 4. 避難シミュレーションのValidation（妥当性確認）

##### 4.1 Validation（妥当性確認）の概要

Validation（妥当性確認）は、津波避難シミュレータが実際の津波避難の状況を所定の精度・信頼度で再現・予測できることをテストするものである。ゆえに「妥当性確認」のための数値実験では、実際に津波避難を行った調査結果を利用することとした。ただし、津波避難の性質上、全数調査は不可能であり、調査結果に不可避のバイアスがかかっていることも否定できないため、個々の避難者の挙動を対象とした「検証」と異なり、「妥当性確認」では避難者の集団の挙動を対象とすることとした。

#### 4.2 Validation（妥当性確認）のための数値実験の概要

数値実験は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震で大津波と津波火災により甚大な被害を受けた宮城県石巻市門脇町・南浜町における地震発生直後の津波避難の事例をもとに設定した。避難者の設定に用いるデータは、研究者・技術者の有志によって結成された東日本大震災津波避難合同調査団が実施した地震発生後の避難行動に関するヒアリング調査の結果をもとにして、妥当性確認に適切と考えられるように作成した。したがって、ここでの設定が実現象を厳密に表しているとは限らない。図1に対象地域の概略図を示す。

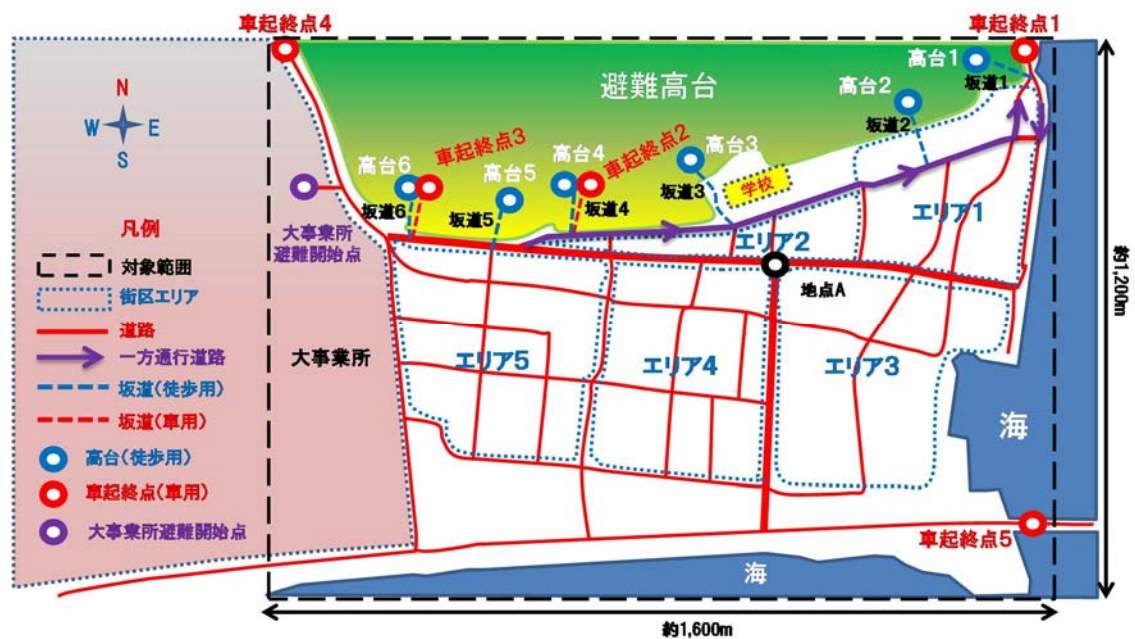


図1 対象地域の概略図（道路ネットワークデータはExcelファイルまたはShapefileで別途提供）

シミュレーション時間は地震発生20分前から全避難者が避難完了するまでの時間とした。地震発生までの20分間は対象地域内の道路上を走行中の車両を再現することとした。地震発生後、全避難者の避難が完了するまでは、対象地域内における徒歩と車による津波避難を再現することとした。

避難者の避難シナリオに関して「1.住民の徒歩避難」「2.住民の車両避難」「3.外出住民の車一時帰宅避難」「4.通過車の避難」「5.大事業所からの避難」という5つのシナリオを設定し、各シナリオについて発生（発生地点、発生時間、人数・台数）、経路（目的地点、移動経路）、移動速度を設定した。なお、数値実験では、シナリオ1～5の避難者を同時にシミュレーションする。表4に避難者設定の一覧を示す。

数値実験の結果として「シナリオ別の避難完了時間と平均避難所要時間」「目的地別の避難完了時間と各目的地に避難した避難者数」「1分毎の避難完了者数の推移」の3項目について数値データをCSV形式等のファイルで出力することとした。また、出力した数値データは、表計算ソフトを用いて表やグラフにし、可能であれば避難者の移動を可視化した動画や、動画のスナップショットを作成することとした。図2に数値実験の出力結果の集計例を示す。

表4 避難者設定一覧

NO	シナリオ	発生場所	徒歩人数/ 車台数	発生時間	行先	避難経路	移動速度
1	<b>住民の徒歩避難 1,450人</b> ・健常者：70%、避難困難者：30%	エリア1	295人	避難開始 時間分布A	高台1~6 のみずか	シミュレ ータの仕 様に従う	健常者： 1.3m/s 避難困難者： 1.0m/s
		エリア2	375人				
		エリア3	150人				
		エリア4	300人				
		エリア5	330人				
2	<b>住民の車両避難 1,230台</b>	エリア1	260台	避難開始 時間分布A	車起終点2： 50% 車起終点3： 50%	シミュレ ータの仕 様に従う	40km/h
		エリア2	325台				
		エリア3	125台				
		エリア4	250台				
		エリア5	270台				
3	<b>外出住民の車一時帰宅避難 370台</b> ・自宅へ立寄り挙動は再現せず	エリア1	65台	避難開始 時間分布B	車起終点2： 50% 車起終点3： 50%	シミュレ ータの仕 様に従う	40km/h
		エリア2	85台				
		エリア3	35台				
		エリア4	85台				
		エリア5	100台				
4	<b>通過車の避難 540台</b> ・地震発生20分前から地震発生20分後まで等量ずつ発生させる ・地震発生20分後から渋滞創出	車起終点1	地震発生後 60台	20秒間隔	車起終点4	地点A経 由 一方通行 を考慮	40km/h
		車起終点4	地震発生後 240台	5秒間隔	車起終点1		
		車起終点5	地震発生後 240台	5秒間隔	車起終点4		
5	<b>大事業所からの避難 1,300人</b> ・地震発生15分後から等量ずつ発生させる	大事業所避 難開始地点	1,300人	1秒間隔	高台6	シミュレ ータの仕 様に従う	1.3m/s

避難開始時間分布 A

地震発生からの 経過時間	発生比率 (%)
0分～6分	0
6分～11分	5
11分～16分	10
16分～21分	8
21分～26分	7
26分～31分	12
31分～36分	16
36分～41分	20
41分～46分	12
46分～51分	7
51分～56分	3
56分～61分	0
計	100

避難開始時間分布 B

地震発生からの 経過時間	発生比率 (%)
0分～6分	0
6分～11分	0
11分～16分	0
16分～21分	0
21分～26分	8
26分～31分	14
31分～36分	18
36分～41分	20
41分～46分	16
46分～51分	12
51分～56分	8
56分～61分	4
計	100

No.	シナリオ	設定条件		シミュレーション結果	
		発生場所	徒歩人数 /車台数 [人 or 台]	避難完了 時間 [地震からの分]	平均所要 時間 [分]
1	住民の徒歩避難	エリア1	295		
		内 健常者	207		
		内 避難困難者	88		
		エリア2	375		
		内 健常者	262		
		内 避難困難者	113		
		エリア3	150		
		内 健常者	105		
		内 避難困難者	45		
		エリア4	300		
		内 健常者	210		
		内 避難困難者	90		
		エリア5	330		
		内 健常者	231		
内 避難困難者	99				
	シナリオ1 全体	1,450	<最大>	<平均>	
2	住民の車両避難	エリア1	260		
		エリア2	325		
		エリア3	125		
		エリア4	250		
		エリア5	270		
		シナリオ2 全体	1,230	<最大>	<平均>
		3	外出住民の 車一時帰宅避難	エリア1	65
エリア2	85				
エリア3	35				
エリア4	85				
エリア5	100				
シナリオ3 全体	370			<最大>	<平均>
4	通過車の避難 ・地震発生後に 発生した車両の	車起終点1	60		
		車起終点4	240		
		車起終点5	240		
		シナリオ4 全体	540	<最大>	<平均>
5	大事業者からの 避難	大事業所	1,300		
		シナリオ5 全体	1,300	<最大>	<平均>

避難手段	目的地	避難者数	避難完了時間
徒歩避難者	高台1	人	分
	高台2	人	分
	高台3	人	分
	高台4	人	分
	高台5	人	分
	高台6	人	分
車両避難者	車起終点1	台	分
	車起終点2	台	分
	車起終点3	台	分
	車起終点4	台	分

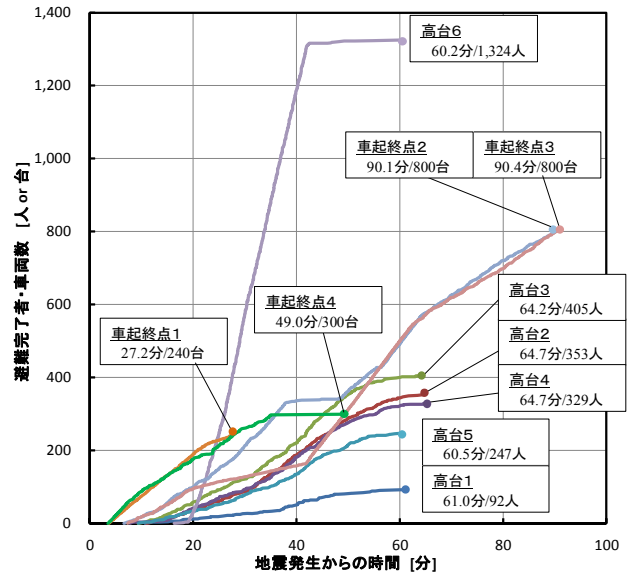


図2 数値実験の出力結果の集計例

数値実験の設定項目の中で、シミュレータの仕様によって設定できない項目があった場合にはその項目と代替の設定方法に関する説明資料を添付することとした。また、シミュレータの仕様に合わせて設定するいくつかの項目については、設定方法や設定値の説明資料を添付することとした。

津波避難シミュレーションモデルに独自の機能があり、独自機能を表現するために数値実験の規定の設定とは異なる設定や追加の条件を別途設定する必要がある場合、これをオプションとして設定できることとした。ただし、その際、「検証」の手順に準拠して独自の機能の検証を行うこととし、「妥当性確認」では、独自機能を用いない数値実験と追加の条件を設けて独自機能を用いた数値実験を行ってその結果の違いを提示することを推奨することとした。

数値実験の結果の評価方法として、相互の避難シミュレータによる数値実験の結果を比較し、互いに倍半分の範囲内の差異に収まっているかどうかを妥当性確認の指標とした。ただし、特異に他のシミュレータと異なる結果になっているからといってシミュレータに問題があるとは限らず、Validation（妥当性確認）では、第三者が確認できる形で、その差異の根拠が示されていることが重要になる。なお、本論文で用いた事例に関わらず、災害後の避難行動調査から数値実験の結果の妥当性を確かめるための解を得ることは難しい。

## 5. V&Vを使った避難シミュレーションの品質保証の実例

### 5.1 概要

本章では、避難シミュレーションにおける品質保証の実例として、4種類の避難シミュレータに対して本稿で提案したV&Vを実施した。具体的には、まず第3章、第4章で述べた考え方に基づいてマニュアル



を作成し、原則それにV&Vを実施した。ただし、Verification（検証）はマニュアルに厳密に実施されることよりも、各検証項目に対するシミュレータのモデル化の方法に応じて、シミュレータが期待通りに挙動していることをユーザーが確認できるように実施されることの方が重要である。したがって、一つひとつの検証に対して、検証実施者は、(1)検証するモデルについての説明、(2)検証時の条件設定（空間モデル、設定パラメータ）、(3)評価指標算出方法を示し、さらに(4)結果の評価・考察として、理論値と計算値の比較結果がもつ意味についてシミュレータの特徴を踏まえるなどしながら評価を加えたVerification（検証）結果報告書を作成し、公開しなければならない。

なお、4種類の避難シミュレータは、それぞれ開発元が異なっており、ベクトル総研<sup>2),3),4)</sup>、構造計画研究所<sup>5),6),7),8),9),10),11)</sup>、東京大学堀研究室<sup>12),13),14),15)</sup>、京都大学清野研究室<sup>16),17)</sup>となっている。各モデルの主要な相違点を表5に示す。各モデルの詳細については参考文献を参照されたい。

## 5.2 Verification（検証）の実例

避難シミュレータのVerification（検証）の実施状況を表6にまとめた。「-」は検証対象のシミュレータが実装している機能や採用しているモデルの性質からVerification（検証）を実施する必要のない項目である。一方で、「○」は実際に設定通りに動作することを確認した、つまり、Verification（検証）を終えた項目である。同表は、ユーザーが、使用するシミュレータのVerification（検証）の実施状況を容易に把握するためには有効だが、避難シミュレーションの品質保証のためには十分とは言えない。これだけでは実際にどのようにVerificationが実施されたのか、第三者からの厳密なチェックを受けられないからである。そこで重要になるのが上述のVerification（検証）結果報告書である。例として、シミュレータDを対象に実施した「避難者の移動速度（徒歩）」の検証結果報告書を示す。

表6 Verification（検証）の実施状況

検証項目			検証実施状況				
			シミュレータA (ベクトル)	シミュレータB (構造計画)	シミュレータC (堀研)	シミュレータD (清研)	
避難者の発生		徒歩	○	○	○	○	
		車両	○	○	○	-	
避難者の移動速度		徒歩	○	○	○	○	
		車両	○	○	○	-	
避難者の避難路選択		徒歩	○	○	○	○	
		車両	○	○	○	-	
避難路の状態が移動速度に与える影響		徒歩	○	○	○	○	
避難者の周囲との干渉	交通量による混雑	マクロモデル	徒歩	-	○	-	-
		車両	-	○	-	-	-
	ミクロモデル	徒歩	○	-	○	○	
		車両	○	-	○	-	
	トポロジーによる混雑	ミクロモデル	徒歩	○	-	○	○
		車両	○	-	○	-	

「○」 設定通りの動作を確認、「-」 検証不要

表5 実例で用いた避難シミュレータの主要な相違点

		シミュレータ A (ベクトル)	シミュレータ B (構造計画)	シミュレータ C (堀研)	シミュレータ D (清野研)
空間モデル	徒歩	道路ネットワーク線上を移動	道路ネットワーク線上を移動	道路ネットワークのグリッドを使って追い越し等しながら移動 道路ネットワークのグラフを使って経路選択	矩形の組み合わせで表現した二次元の道路空間内を移動
	車両	同上	同上	同上	
避難者の発生	徒歩	設定条件に従った決定論的取扱い	設定条件に従った決定論的取扱い	設定条件に従った決定論的取扱い 位置等をばらつかせる確率論的取扱い	設定条件に従った決定論的取扱い 位置等をばらつかせる確率論的取扱い
	車両	同上	同上	同上	
避難者の移動速度	徒歩	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度（非混雑時）	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度（非混雑時）	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度（非混雑時）	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度（非混雑時）
	車両	同上	同上	同上	
	相互作用	【徒歩-徒歩】避難者の前方密度によって制御 【車両-車両】前方車と車線変更時の衝突判定により制御 【徒歩-車両】混雑により車道にはみ出す徒歩避難者によって制御	【徒歩-徒歩】避難者の周辺密度によって制御 【車両-車両】同上 【徒歩-車両】移動可能範囲を分け合うことにより影響を考慮。ただし動的相互作用は考慮しない 【交差点】信号ではなく前方密度による速度制御。右左折不能による停止も考慮。	【徒歩-徒歩】追い越し・一時停止等を行う衝突回避によって決定。独自のパラメータを設定。 【車両-車両】同上 【徒歩-車両】同上	【徒歩-徒歩】周辺の避難者との心理的・物理的な相互作用によって制御
避難者の避難路選択	徒歩	目的地までの最短経路	目的地までの最短経路	道路ネットワークのグラフを使った最短経路 視野内の道路状況をみて動的に選択	目的地までの最短経路に近い複数の経路からランダムに選択 視野内の道路状況を見て動的に選択
	車両	同上	目的地までの道路レーン数を考慮した最短経路	同上	
避難者の進行方向	徒歩	回避行動等による進行方向の変更はない	回避行動等による進行方向の変更はない	最短経路の方向が原則。衝突回避時には方向が変わる。	最短経路の方向が原則。衝突回避時には方向が変わる。
	車両	同上	同上	同上	

(1) 検証するモデルについての説明

検証するモデルは、避難者の移動速度を直接与えるのではなく、目標地点に向かう個体推進力を作用させ、その他に避難者に作用する力（接触する他の避難者から受ける抗力など）も含めた運動方程式を解くことにより移動速度を決定している。避難者の移動速度を制御するために、最大移動速度を設定できる。避難者がこの速度を超えると個体推進力を0.0Nにし、それ以上加速しないようにモデル化されているが、個体推進力が0.0Nのままだと移動の向きを変えられないため、移動速度が最大移動速度を下回るまで摩擦が作用するようになっている。したがって、移動速度は等速にはならない。

(2) 検証時の条件設定

検証時に用いた条件設定は、図3に示す通りである。避難者A、Bが、A点からC点に向けて避難する。両避難者の間には、互いに干渉し合うことのない距離が保たれる。

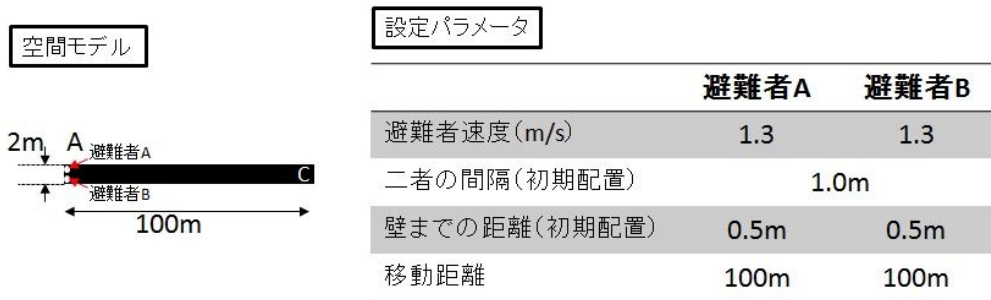


図3 Verification (検証) に用いた条件設定

(3) 評価指標の算出 (理論値)

評価指標として同モデルの理論値を求めることは容易ではないため、ここでは等速で移動した場合の避難時間 ( $100 \div 1.3 = 76.9s$ ) を評価指標として用いることにした。対象モデルの理論値が厳密に求められる場合には数%の誤差も許容されるべきではないが、今回の場合は評価指標との差が生じる根拠を明示し、モデルが期待通りの挙動をしていることを確認することが求められる。

(4) 結果の評価・考察

表7は、計算結果と理論値 (評価指標) の比較である。シミュレーション結果は、理論値よりも4.8%大きい。これは、当該シミュレータの移動速度が初速度0.0m/sから次第に加速していくこと、最大移動速度1.3m/sを超える度に、最大値を下回るように移動速度を低下させているため、等速移動を仮定した理論値よりもC点に到達するまでの所要時間が長くなったと考えられる。しかし、避難者の移動速度は1.3m/s前後に保たれており期待通りの挙動を示している。

表7 Verification (検証) の実施結果

	移動時間 (秒)		移動時間の誤差 (秒)
	理論値 (a)	シミュレーション (b)	
避難者A	76.9	80.6	3.7
避難者B	76.9	80.6	3.7

5.3 Validation (妥当性確認) の事例

事例として実施した避難シミュレータのValidation (妥当性確認) の結果を図4と図5にまとめた。ここでエリア別避難完了率の時系列変化 (徒歩避難者) とエリア別避難完了率の時系列変化 (車避難者) を

出力したのは、Validation（妥当性確認）では個々の避難者の挙動ではなく避難者の集団の挙動が精度よく再現されていることが要求されるためである。ただし、シミュレータDに関しては、徒歩避難者の問題を扱うために開発されたものであるため、徒歩避難者のValidation（妥当性確認）のみ実施した。

徒歩避難者のエリア別避難状況に関しては、倍半分精度の議論をするという前提条件の下では、シミュレータ間で概ね同様な傾向がみられる。大事業者は他のエリアよりも避難完了が早く、地震発生から40~50分である。その他のエリア1~5については、同60~70分の間で避難を完了している。高台の避難場所から最も離れているエリア3は、避難完了に時間がかかっており同65~70分である。いずれのシミュレータも妥当な計算結果を得ていると言える。

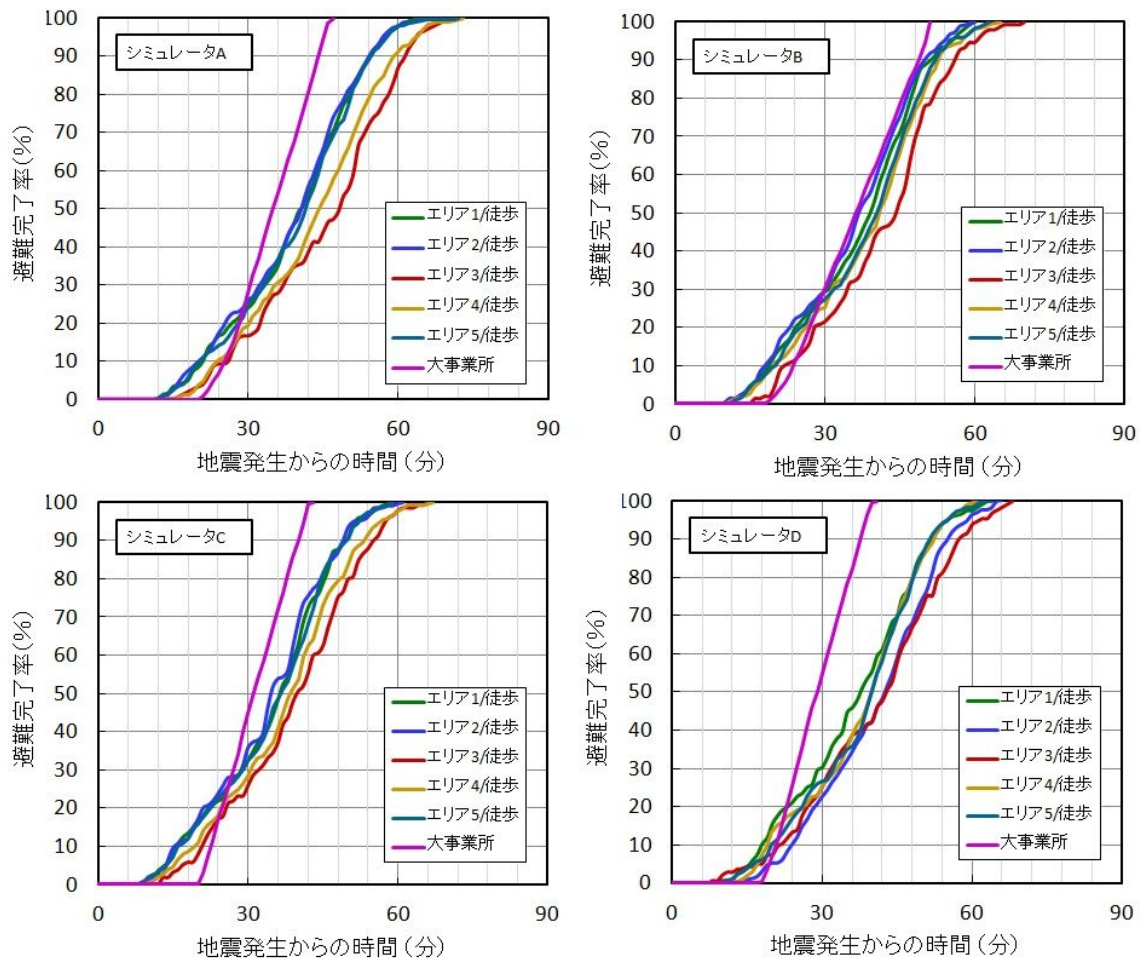


図4 エリア別避難完了率の時系列変化（徒歩避難者）

一方、車避難者のエリア別避難状況に関しては、シミュレータ間で非常に大きな差がみられる。車避難では、渋滞の発生状況が避難状況に大きな影響を及ぼしていることが分かる。特に、車起終点4からの避難車両の渋滞発生モデル間の差は顕著であり、シミュレータAでは渋滞の影響はなく30分未満で避難を完了しているのに対し、シミュレータBとCはわずかに渋滞が発生し60分程度で避難完了している。その他のエリアについても、渋滞の発生状況により、シミュレータ間で避難完了に30分以上の差がみられる。表5に示す徒歩避難者と避難車両の相互作用に関するモデル化の違いがこの差の主たる原因であると考えられる。

実際の渋滞の発生状況に関する詳しい状況が把握できていない事例を用いたValidation（妥当性確認）では、徒歩避難に比べ、自動車避難のValidationは容易ではない。また、徒歩避難と異なり、自動車避難はシミュレーション対象領域外の渋滞が対象領域内に大きな影響を及ぼす可能性がある。そのため、対象領域外の渋滞を考慮するための設定は各シミュレータの仕様に合わせて行い、その方法や設定値は数

値実験の結果を示す際に明記されなければならない。さらに、多くの場合、交差点で発生しうる徒歩避難者と自動車の交錯や干渉などの相互作用に関しても大きな課題である。避難者の集団としての挙動に無視できない影響を与えると考えられるが、精度よくモデル化するのが容易ではなく、またValidation（妥当性確認）のための正解が得られていないからである。現状では、「なぜ、その結果ができたか」についてモデル化、シミュレーションプロセスを含めた納得性のある説明をValidation報告書に行うといった定性的な評価しかできない。

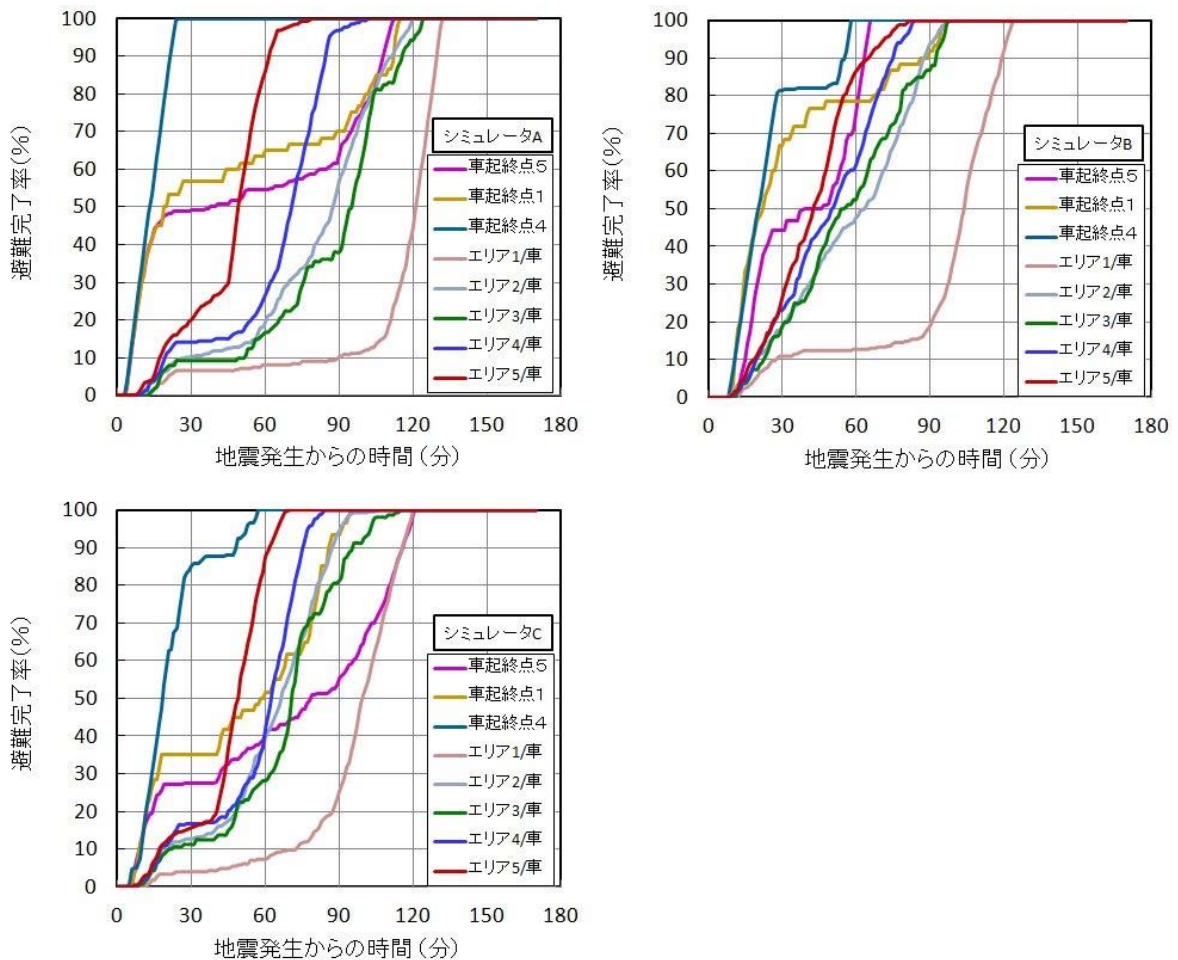


図5 エリア別避難完了率の時系列変化（車避難者）

## 6. おわりに

本論文は、住民の津波に関する状況把握と要因抽出という目的を考慮し、避難シミュレーションの品質保証を行う具体的なV & Vを提案した。提案の内容は、基本的な考え方と具体的な方法である。4つの避難シミュレーションを例として、提案された方法にしたがった品質保証の手順を示した。改良の余地はあるが、手順自体は齟齬・支障なく行うことができる。また、例に使われた避難シミュレーションの品質も保証された。

客観的な実験・観察結果を利用できる自然科学シミュレーションに比べ、避難シミュレーションのような社会科学シミュレーションは、品質保証が難しいことは確かである。一方、地震工学に限っても、避難の他、二次被害、復旧・復興を扱う社会科学シミュレーションが果たす役割は今後、ますます重要になると考えられる。より合理的な品質保証の方法を確立することが重要であり、本論文で提案したV &

Vは品質保証の方法の一つの候補である。

## 謝 辞

本論の作成に当たっては、日本地震工学会「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会（委員長：後藤洋三）」で行われた活動の一部を報告したものであり、多くの委員から有意義なご示唆をいただいた。記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 交通シミュレーションクリアリングハウス ウェブサイト：<http://www.jste.or.jp/sim/index.html>、2014年8月31日閲覧。
- 2) ベクトル総研 ウェブサイト：<http://vri.co.jp/solution/refuge.html>、2014年8月31日閲覧。
- 3) Affan, M., Goto, Y. and Sabti, A. : Tsunami Evacuation Simulation for Disaster Awareness Education and Mitigation Planning of Banda Aceh, Proceeding of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, 2012, [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_3525.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3525.pdf).
- 4) 印南潤二、正垣隆祥、笈文彦、福井潔、山田武志：群集シミュレーション手法を活用した大規模ターミナル駅周辺の避難誘導情報の施策検討、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、vol.45、2012年、ROMBUNNO.8.
- 5) 構造計画研究所 ウェブサイト：[http://iit.kke.co.jp/solutions/bousai\\_solution.html#tsunami](http://iit.kke.co.jp/solutions/bousai_solution.html#tsunami)、2014年8月31日閲覧。
- 6) Burghout, W., Koutsopoulos, H. N. and Andreasson, I.: A discrete-event mesoscopic traffic simulation model for hybrid traffic simulation, International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2006.
- 7) 交通シミュレーション自主研究委員会、交通流シミュレーションの標準検証プロセスVerificationマニュアル(案)、交通シミュレーションクリアリングハウス、<http://www.jste.or.jp/sim/manuals/index.html>、2014年8月31日閲覧。
- 8) J. J. フルーイン：歩行者の空間—理論とデザイン、長島正充訳、鹿島出版会、1974年、206p.
- 9) 平井則行、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司：歩行実験に基づく群衆密度と歩行速度の関係について、日本建築学会近畿支部研究報告集、計画系 (33)、1993年、pp.481-484.
- 10) Yamada, Y (1989), The Optimum Forest-Road Density Determined in Relation to the Cost of Walking, J. Jpn. For. Soc.71, pp. 257-264
- 11) 財団法人日本建築センター：避難安全検証法の解説及び計算例とその解説、海文堂出版株式会社、2001年、316p.
- 12) Hori, M.: Introduction to computational earthquake engineering, 2nd edition, Imperial College Press, 2011, pp.317-358.
- 13) Leonel Enrique Aguilar Melgar, Wijerathne Maddegedara Lalith Lakshman, Muneo Hori, Tsuyoshi Ichimura and Seizo Tanaka: On the Development of an MAS Based Evacuation Simulation System: Autonomous Navigation & Collision Avoidance, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 8291, 2013, pp.388-395.
- 14) Wijerathne Maddegedara Lalith Lakshman, Muneo Hori and Tsuyoshi Ichimura: Parallel scalability enhancements of seismic response and evacuation simulations of Integrated Earthquake Simulator, Lecture Notes in Computer Science, 7851, 2013, pp. 105-117.
- 15) Wijerathne Maddegedara Lalith Lakshman, Leonel Enrique Aguilar Melgar, Muneo Hori, Tsuyoshi Ichimura, Seizo Tanaka: HPC Enhanced Large Urban Area Evacuation Simulations with Vision based Autonomously Navigating Multi Agents, Procedia Computer Science, 18, 2013, pp.1515-1524.
- 16) 清野純史、三浦房紀、瀧本浩一、中嶋庸一：個別要素法（DEM）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No4、1994年、pp.322-327.
- 17) 八木宏晃、清野純史、三浦房紀、すれ違いや追い越しを考慮に入れたDEM による人間行動シミュレーション、地域安全学会論文報告集No5、1995年、pp.449-456.

## 5. 国際交流部会

### 5.1 目的と成果概要

大規模災害からの避難は稀な現象であり、日本のみならず、海外の災害事例や研究論文を収集し、海外の研究者や留学生との交流に努めるため、国際交流部会を設置した。部会のメンバーは村上ひとみ(主査)、中須正(幹事)、後藤洋三、島村誠、小川雄二郎である。部会は2, 3か月に1回(年5回程度)、ネットワークのgoogle hangoutの環境を活用して開催してきた。本部会の主な活動成果を以下に挙げる。

本省の5.1、5.3、5.6、5.8は村上が、5.2、5.4は中須が、5.5は後藤が、5.7は島村が執筆担当した。

- ・学会論文集への投稿「海外における大規模自然災害からの避難に関する調査・研究事例の収集と分析」
- ・第16回世界地震工学会議(16WCEE、2017年1月チリ国にて開催)において、特別テーマセッションとして、Disaster Risk Management against Giant Tsunamisを提案した。
- ・海外の災害避難研究事例紹介と討議：インドネシア(津波)、タイ(津波や水害)、チリ(津波)等

### 5.2 海外における避難関係文献・資料の収集・分析

本論文の目的は、今後の海外における大規模な災害からの避難に関する研究に資するため、第一に、既存の避難研究及び研究内容の全体像を概説すること、第二に、避難対応計画やマニュアルなど行政の取り組みについて参考となる事例を収集し、その内容を概説すること、第三に、避難研究を実施するための前提条件となる災害自身の特徴やその背景を把握するための情報源について示すこと、にある。

研究方法については、英文で発表されている海外における避難に関する資料・文献に関する対象分野を自然災害研究全般と社会科学分野に分類した後、文献のメタ情報を収集し、テキストマイニングを行った。分析された文献のなかでも、特徴的な事例については、著者らで専門性を配慮し、担当を決めてレビューを行った。研究のみにとどまらず実践的な避難対応についても、海外の代表的な避難対応計画やマニュアル等の情報収集を行い内容を概説した。さらに、避難が問題となる大規模災害情報について、既存の基礎的な海外の災害データベース情報を俯瞰した。

分析結果について、研究動向や研究内容において自然災害研究全般では表5.2.1に示されるように、洪水に関する研究が特に多く、それらは他のハザードと複合的な内容であることが明らかになった。また、論文内容に対するテキストマイニングにおいて抽出された出現回数20回以上の単語は、40語であり、上位から、「リスク」、「洪水」、「災害」、「ハザード」、「脆弱性」、「変化」、「マネジメント」、「気候」の順となった(表5.2.2)。また、「コミュニティ」、「適応」、「健康」、「計画」、「カトリーナ」、「決断」、など特筆すべき単語も抽出された。図5.2.1の共起ネットワークからは、緊急事態での判断や気候変動の影響、及び台風モラコットという社会的に影響を与えた災害が全体のキーワードとして抽出された。

一方、社会科学的分野からは、ハリケーンに関する研究、なかでもハリケーン・カトリーナに関する研究が際立っており、その与えた社会的影響はもとより研究にも与えた影響の大きさを物語るものとなった。また、テキストマイニングによる共起ネットワークからは、ハリケーン・カトリーナで社会問題化した老人ホームや避難からの帰還の問題やフィリピンのマヨン火山の噴火における避難対応に関する事例が抽出された。対応分析では、図5.2.2で示されるように全体の中心的なキーワードが「コミュニティ」であることが示された。

特徴的な事例の文献レビューについては、避難の数値シミュレーションの適用に関する研究(マルチエージェントシミュレーションをスマトラ島バダンの津波避難の分析に適用した事例、時間で異なる人口分布と警報の伝達の速さが避難に及ぼす影響をセルラーオートマトンで検討した事例、及び津波からの避難時間の解析に最小コスト距離解析を適用した事例)、鉛直避難(鉛直避難の先にあるもの:総合的鉛直防御戦略の研究考察)、及び事例研究(災害警報と避難命令への対応:サイクロンシドルの場合、ビッグイージーでの難しい決断:社会関係資本とハリケーン・カトリーナ時におけるニューオリンズのヒスパニックコミュニティの避難、及びフロリダ州サラソタ郡におけるハリケーン災害への高齢者の脆弱性)に関する文献について内容の紹介を行うとともに担当者らの専門的視点からのコメントを加

えている。

避難対応や大規模災害情報については、避難対応では、アメリカ、オーストラリア、及びスウェーデン各国の避難計画及びマニュアルについて、特にアメリカについては、国、州、郡、さらには、家族、学校、企業、個人レベルまで代表的な例を取り上げ概説している。大規模災害情報では、主要な災害データベースとして、EM-DAT、Disaster Charter DB、NOAA National Geophysical Data Center、及びAsian Disaster Reduction Centerなど、既存の有効な災害情報の概要や利用事例について示した。

表5.2.1 Springer Linkにおける災害種別の検索ヒット件数

ハザード	洪水	ハリケーン	津波	台風
ヒット件数	635	290	211	83

表5.2.2 抽出された出現回数20回以上の単語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
risk	109	study	51	hurricane	34	review	26
flood	107	analysis	48	model	34	planning	24
disaster	102	earthquake	46	evacuation	33	development	23
hazard	95	natural	46	landslide	33	city	22
assessment	72	response	42	area	32	effect	22
vulnerability	70	impact	39	social	32	katrina	22
change	65	emergency	38	tsunami	31	use	22
management	64	urban	38	adaptation	29	china	21
climate	58	coastal	37	approach	28	society	21
case	52	community	37	health	27	decision	20

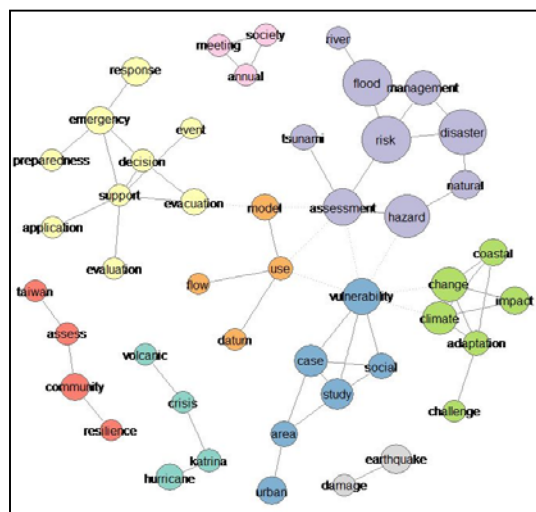


図5.2.1 共起ネットワーク（自然災害全般）

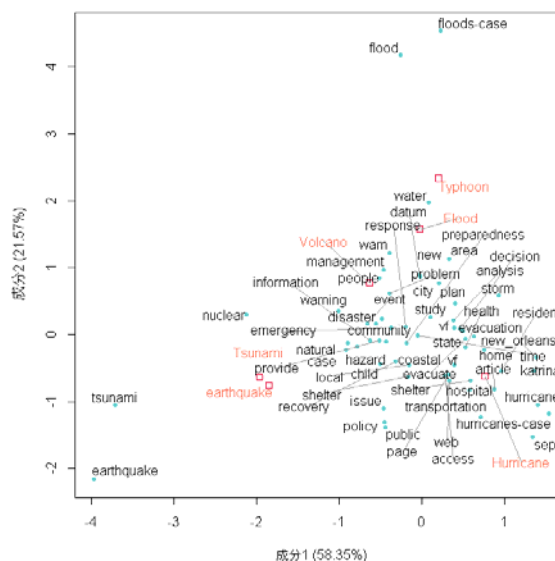


図5.2.2 対応分析（社会科学分野）

以上述べてきたように、本研究では、海外における避難に関する資料・文献の収集及び分析を行い、研究傾向、研究内容、そして実践としての避難対応や基礎となる情報源を俯瞰的に概説している。これらは、今後の大規模災害に対する避難研究を実施するうえでの有効な基礎資料として資するものである。

**【参考文献】** 村上ひとみ、中須正、島村誠、後藤洋三、小川雄二郎（2015）：海外における避難関係文献・資料の収集・分析、日本地震工学会論文集, Vol. 15, No. 5, p.5\_76-5\_96.



### 5.3 第16回世界地震工学会議において津波避難特別テーマセッションを提案

4年に一度の世界地震工学会議が2017年1月、津波リスクの高いチリ国にて開催される機会に、2015年1月～7月、特別テーマセッションとして、「Disaster Risk Management against Giant Tsunamis（巨大津波に対する災害リスクマネジメント）」を後藤・村上が発案した。その主旨は、以下のとおりである。

「この12年間、2004年インド洋大津波に始まり、2011年東日本大津波など、世界各地で巨大津波の災害を経験してきた。2010年チリマウレ地震など、M8クラス地震による中規模の津波も多く発生している。最新の地球科学の知見から、プレート沈み込み帯であるアタカマ、スンダ、カスケード、南海トラフなどで、巨大地震と津波の発生が予測されている。大津波が人口密度の高い海岸低地部を襲えば、防潮堤など人工構造物で防御することは困難で、多大な人命を失う恐れが高い。したがって、効果的な津波災害リスクマネジメントへの要請は極めて高く、早期津波警報、避難訓練、コミュニティ自主防災、津波に強靱な都市計画と土地利用、ハザードマップの公開等が人的・物的被害軽減のために重要である。世界地震工学会議開催の機会に、巨大津波から多くの命を守る強靱な津波リスクマネジメント手法に関する国際的な研究発表を多数集め、意見交換、討議を行うことを提案する。」

本提案は、SATREPSチリ津波研究プロジェクトのチリ側リーダーであるカトリック教皇大学 Rodrigo Cienfuegos Carrasco教授が代表としてWCEEプログラム委員会に提出し、採択された。このテーマへのアブストラクト投稿は、24件に達し、国別内訳は、チリ6件、日本16件（内、日本人14件、外国人研究者2件）、インドネシア1件、ポルトガル1件となっている。発表論文のカバーするおよそのテーマ範囲を図5.3.1に示す。巨大津波からの避難が問題になっている、チリ、中南米、インドネシア等環インド洋、環太平洋、ECプロジェクトなどに関する研究発表と避難対策、情報警報技術、防災教育、社会心理的問題、都市計画と土地利用、災害復興等について、幅広い議論が期待される。

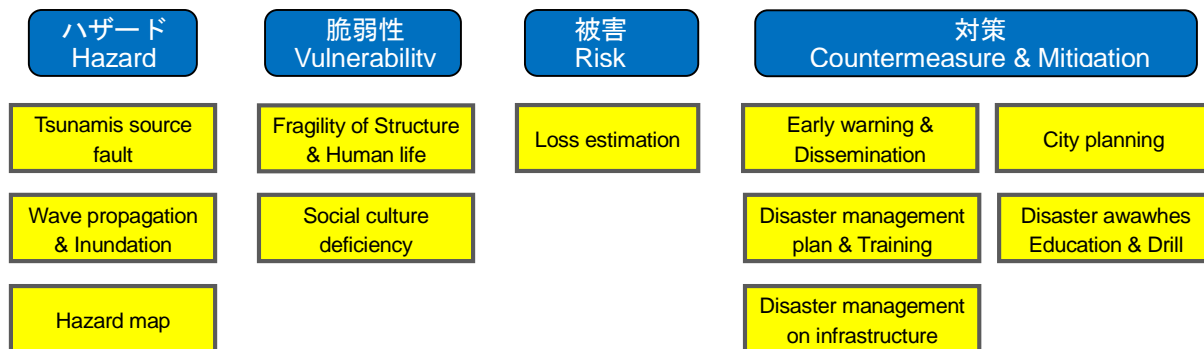


図5.3.1 大規模津波からの避難特別テーマセッション（SS60, 16WCEE）のテーマ分類

### 5.4 タイにおける自然災害リスク評価と災害避難研究の概要

#### (1) はじめに

国際交流部会では、部会活動として、チューラーロンコーン大学Anat Ruangrassamee助教による津波災害リスクアセスメントに関する研究報告会をインターネット会議にて行った。本報告では、その背景として、タイではどのような自然災害があり、それぞれどのようなリスクがあるのか、そしてそれらをどう評価し対応すればよいのか、そして、災害避難に関してどのような研究がなされているのかについて、報告する。

まず、タイにおける自然災害については、EM-DATによるデータ分析及び文献資料により全体像を把握した（D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois 2016）。具体的には、まず、Advanced researchにより、1900年から2004年までにタイで発生した自然災害一覧を抽出し、全体像を概観したあと、Country Profileより、死者、被災者、及び被害額の大きかった自然災害上位10を示した。さらに、Advanced researchによる一覧から、各自然災害ごとの発生件数、死者数、被災者数、さらには、被害総額を算出し、災害毎の割合を算出した。この結果をリスクアセスメントマッピングの手法を利用、可視化し、その各災害リスクを

概説した。さらに、特徴のある災害については、説明を加えた。なお分析基準となる災害件数は、EM-DATの定義に従った。

次に、災害避難に関する研究についてである。チューラーロンコーン大学学術資源局により運営されているデータベースを用いタイにおける災害避難研究に関する論文検索を行い、検索により抽出された文献の全体像及び各文献の概要について示した。

## (2) タイにおける自然災害概要

EM-DATのAdvanced research及びCountry Profile利用によるタイにおける自然災害の概要についてである。まず、Advanced researchによるデータ一覧を分析し、タイの自然災害の全体像を考察した。以上よると、タイの自然災害は多岐に渡っているが、一番古い記録がなされている1955年から2014年まで、131件の自然災害に遭遇しており、発生件数では、洪水(72件)、暴風雨(33件)が特に多い。しかしながら、死亡率については、地震(津波)が圧倒的に多く、過去全体の29.8%(8,847人)を占めており、次の洪水による死亡率13%を大きく引き離している。洪水は被災者率(30.7% 55,542,471人)及び経済被害率(47.5% 45bill.USD)において圧倒的に多い。干ばつによる影響は、被災者率(16.5%)において顕著である。

次にCountry Profileによる検索から、タイにおける自然災害による死者数、

被災者数、及び被害額の上位10件を表出した。以下表5.4.1-5.4.3は、それらの結果を見やすく加工したものである。上記の概説における死者については、表5.4.1に示すように2004年のインド洋津波による影響が大きく、被災者につ

ては、2008年4月からの干ばつをはじめ、干ばつ及び洪水による影響が目立っている。経済被害については、チャオプラヤ川周辺を中心に、タイ中部以南の7つの工業団地及びバンコク市街地まで被害が広がった2011年の洪水被害による影響が特に大きいことがわかる(表5.4.3)。

## (3) タイにおける自然災害リスク(リスクアセスメントマッピング)及び評価

### (a) 方法

EM-DATデータベースのAdvanced researchにより、1900年から2014年まで自然災害、及び災害タイプを指定し、一覧を抽出した。そのデータを加工し、災害ごとの、発生件数、死者数、被災者数、被害総額に対する割合を算出した。さらにこれらの結果を統計ソフトRによる可視化を行った。可視化については、リスクアセスメントマッピングの手法を利用した。具体的には、米国オレゴン州行政サービス局が公開している手法を参照し、縦軸に影響度を、横軸に頻度を取り、各災害のリスクを下記分類表によって評価した。同局では、リスク評価に影響度と起こり易さ(Probability)で分類しているが、本報告では、過去のデータから算出した値として発生頻度(Frequency)を用いた。リスク研究ではしばしばどちらも相互に使われるが、過去のデータか、未来の予測かのとらえ方の違いである。

表 5.4.1 死者数上位 10(1955-2014)

Date	Type	Totals deaths
2004-Dec.26	Earthquake (Tsunami)	8345
2011-Aug.5	Flood	813
1962-Oct.27	Storm	769
1988-Nov.19	Flood	664
1955-Jun.	Earthquake	500
1989-Nov.3	Storm	458
2010-Oct.10	Flood	258
1975-Jan.3	Flood	239
1995-Aug.1	Flood	231
2006-Aug.20	Flood	164

表 5.4.2 被災者数上位 10(1955-2014)

Date	Type	Total affected
2008-Apr	Drought	10000000
2011-Aug5	Flood	9500000
2010-Oct.10	Flood	8970653
2010-Mar.	Drought	6482602
1999-Jan.	Drought	6000000
1996-Jun.30	Flood	5000000
2002-Feb.	Drought	5000000
1995-Aug.1	Flood	4280984
2013-Sep.30	Flood	3500000
2002-Oct.	Flood	3289420

表 5.4.3 被害額上位 10位(1955-2014)

Date	Type	Total damage ('000 US\$)
2011-Aug.5	Flood	40000000
1993-Nov.27	Flood	1261000
2004-Dec.26	Earthquake	1000000
2013-Sep.30	Flood	482000
1989-Nov.3	Storm	452000
2005-Jan.	Drought	420000
1993-Dec.	Flood	400100
1984-Jan.19	Flood	400000
1978-Aug.	Flood	400000
2010-Oct.10	Flood	332000

Impact of Risk	High	Management required	Considerable management and monitoring required	Extensive management and monitoring essential
	Medium	Accept risk but monitor	Management worthwhile	Management required
	Low	Accept risk	Accept risk but monitor	Manage and monitor
		Low	Medium	High
Probability of Risk				

図 5.4.1 リスクマトリックスオプション(1)

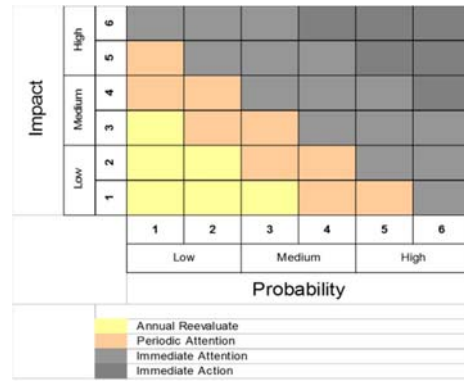


図 5.4.2 リスクマトリックスオプション(2)

(b) 分析結果

○ : 干ばつ    △ : 地震 (津波)    + : 疫病    × : 異常気象    ◇ : 洪水    ▽ : 地すべり    ☒ : 暴風 (雨)    \* : 山火事

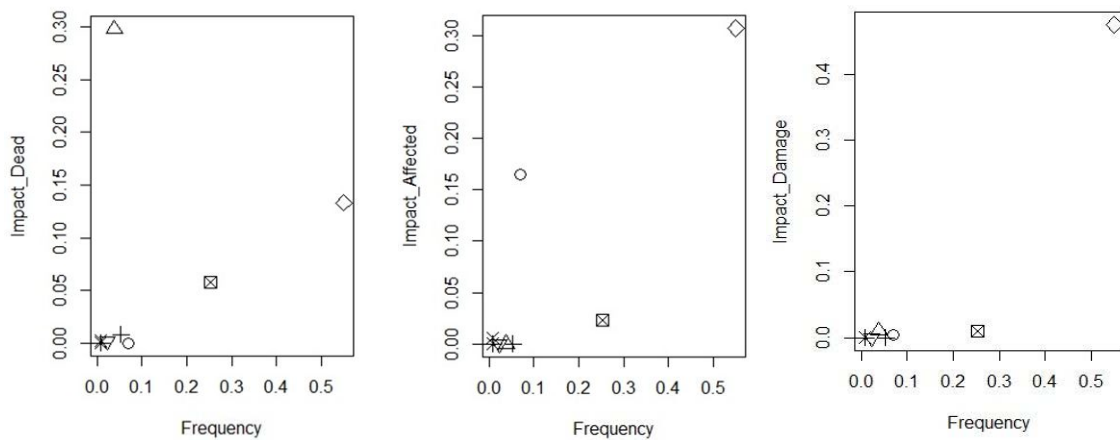


図 5.4.3 リスクアセスメントマッピング(死亡リスク、被災リスク、経済被害リスク)

図5.4.3で示すように各災害リスクをリスクアセスメントマッピング手法により、縦軸に影響度 (Impact) (死亡、被災、及び経済被害)、横軸に発生頻度 (Frequency) とし、散布図で示した。その結果を図5.4.1, 5.4.2のリスクマップオプションのカテゴリーに従って、a) 死亡リスク、b) 被災リスク、c) 経済被害リスクについて、その評価及び対応を示した。a) 死亡リスクについては、地震 (津波災害) 及び洪水について、マネジメントが要求され、緊急の注意喚起が必要となる。暴風雨については、マネジメントが考慮されるべきで、定期的な注意が必要である。他の災害については、リスクを受けとめ、年単位での再評価とする。b) 被災リスクについては、洪水について、広範なマネジメント及び監視が必須であり、対策の緊急性が示された。干ばつに対しては、リスクを受けとめ監視すること、定期的な注意が必要となる。暴風雨及び他の災害については、死亡リスクと同様である。c) 経済被害リスクについては、洪水リスクが特に高く、干ばつリスクが低い以外は、被災リスクと同様である。

総じてタイ国としては、洪水対策を最も優先すべきで、次に地震 (津波対策) そして、干ばつ対策となる。このリスクアセスメントマッピングによりタイの自然災害リスクを概観できるとともにその対策についても優先順位を検討することができる。

(4) タイにおける災害避難研究概要

チュラーロンコーン大学学術資源局データベースを利用した (図5.4.4)。同データベースは、スコープスやISIなど主要アカデミック論文掲載データベースはもとより、新聞雑誌記事、視聴覚教材、博士論文等を一元的に検索できるデータベースである。検索語は“Disaster” “Evacuation” “Thailand”として、

95件が検索抽出された。内訳は、論文が30件（査読付き論文は17件）、新聞記事が50件、書籍が7件、視聴覚資料が5件、議事録が2件、博士論文が1件等である。本報告では、論文30件について、タイトル及び概要を全て確認したあと、本研究委員会と関係する災害避難に関する論文4件を選定した。

### (5) タイにおける災害避難研究論文概説

抽出されたタイにおける災害避難研究論文の全体像は、1)4本の概要2本が津波で2本が洪水である。2)津波については、2004年のインド洋津波における避難行動に関する研究である。3)洪水については、避難行動分析と病院避難についての研究である。4)3文献が統計解析によるモデル構築と分析である。以下に各文献の概要を示す。

(a) Thai Charnkol, Shinya Hanaoka, and Yordphol Tanaboriboon : Emergency trip destination as shelter analysis for Tsunami Disaster : A Case Study in Phuket, Thailand, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2007, pp853-867.

概要：インド洋津波におけるプーケットにおける被災者の避難所選択に関する研究である。何が避難所選択行動に影響を与えるか。さらには、避難者の認識が避難所選択にどのように影響を与えるかを明らかにしている。方法は、ロジスティック回帰分析モデル、ニューラルネットワーク分析モデルを用いている。分析結果は、地域住民は公的避難所、観光客など訪問者は、ホテルなどの私的避難所を選択する傾向にある。避難所選択に影響する要因として、1)食糧と飲料水、2)安全及びセキュリティ、3)医療サービス、の優先順位が明らかにされている。研究成果の適用としては、今後のシェルター計画に貢献するとしている。

(b) Paramet Luathep, Arun Suwansunthorn, Suppakon Sutthiphphan, Pichai Taneerananon : Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10 (0), 2013, pp.178-195.

概要：洪水常襲地域であるハイヤイ市における洪水避難行動分析に関する研究である。質問紙調査では、ロジスティック回帰分析を行う一方、インタビュー結果を用い、避難決定モデル及び避難方法選択モデルの二つの洪水避難モデルを開発している。結果の一例として、男女の性差、大人の数、及び身障者が、私用車の利用を決断しやすい大きな要因となっていることを明らかにしている。適用として、地域の災害対策機関に対して、洪水準備避難計画などで利用される、さらに研究のコンセプトが他の地域にも適用されることを期待している。

(c) A.Khorram-Manesh, C.Anghthong, A.Pangma, S.Sulannakarn, R.Burivong, R.Jarayabhand and P.Ortenwall : Hospital Evacuation; Learning from the Past? Flooding of Bangkok 2011, British Journal of Medicine and Medical Research, Vol.4 (1), 2014, pp.395-415.

概要：2011年の洪水事例からバンコク首都圏の病院の避難を評価することを目的としている。方法としては、避難もしくは災害対応経験のある4医療機関を対象とし、各施設の避難能力を特徴づけるための質問紙及びインタビュー調査を行っている。質問紙は、「リスク・脆弱性分析（RVA）」を参考に設計されている。結果としては、計画、実施、管理、コミュニケーション、支援、資源、及び移動における問題点が示唆されている。また、患者の安全性、医療データの移転、移動中の患者のケアや治療は、評価できるとしている。一方、計画、リーダーシップ、コミュニケーション及び協働活動などについて継続的な改善の必要性が示されている。

(d) Thai Charnkol, Yordphol Tanaboriboon (2006) Tsunami Evacuation Behavior Analysis: One Step of Transportation Disaster Response

概要：本研究は、居住者と訪問者の津波避難の行動とその背景を明らかにすることを目的としている。津波避難データは、被災地であるプーケット及びパンガ県から収集している。津波避難行動分析は、将来の津波警報に対する知見を得ることを目指している。結果として準備及び対応行動曲線が導きだされ、さらに居住者と訪問者の比較を行っている。避難モデルは、バイナリロジスティック回帰分析により、

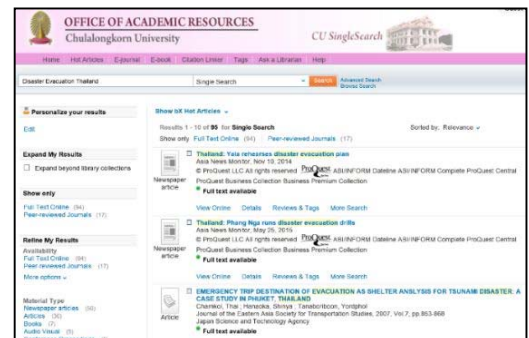


図 5.4.4 チュラーロンコーン大学学術資源局データベース

対応の早い、遅いグループを予想している。また、避難モデルは、子どもが多い世代や経験の浅い 10代の避難が遅れる傾向にあるなど異なる社会属性による避難警報への反応を明らかにしている。以上は、将来の公的な安全性を向上させる効果的な避難マネジメントに寄与するとしている。

## (6) 結び

本報告では、タイにおける自然災害の全体像及び各災害リスクを把握するとともに、災害避難に関する研究を概観した。EM-DATからタイにおける1900年から2014年の自然災害データを抽出し、死者数、被災者数、経済被害上位10災害を示し、全体像を把握するとともに、各災害の災害リスク、さらにはその評価及び対応について示した。災害避難研究について、チュラーロンコーン学術資源局データベースより検索抽出された洪水及び地震（津波）に関する4研究論文について概要を記述した。タイにおける自然災害の全体像としては、洪水、地震（津波）、干ばつ、及び暴風雨が特徴的であることが示された。死亡リスクでは、地震（津波）、被災者リスク、経済被害リスクについては、洪水が特に高く緊急な対策が必要とされることが明らかになった。災害避難研究についてもこの事実を反映して、洪水及び地震（津波）災害からの避難に関する研究論文が抽出された。

## 参考文献

- 1) A.Khorram-Manesh, C.Angthong, A.Pangma,S.Sulannakarn, R.Burivong,R.Jarayabhand and P.Ortenwall : Hospital Evacuation; Learning from the Past? Flooding of Bangkok 2011, British Journal of Medicine and Medical Research, Vol.4 (1), 2014, pp.395-415.
- 2) Department of Administrative Service, Oregon State: Risk Assessment Categories Generic <http://www.oregon.gov/DAS/Pages/index.aspx>(2016.2.22閲覧).
- 3) D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois - EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) – Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium(2016.2.22閲覧).
- 4) Paramet Luathep, Arun Suwansunthorn, Suppakon Sutthiphphan,Pichai Taneerananon : Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10 (0), 2013, pp.178-195.
- 5) Thai Charnkol, Shinya Hanaoka, and Yordphol Tanaboriboon : Emergency trip destination as shelter analysis for Tsunami Disaster : A Case Study in Phuket, Thailand, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2007, pp853-867.
- 6) Thai Charnkol, Yordphol Tanaboriboon : Tsunami Evacuation Behavior Analysis: One Step of Transportation Disaster Response, IATSS Research, Vol.30 (2), 2006, pp.83-96.

## 5.5 インドネシア・バンダアチェ住民の大規模避難行動と東日本大震災における避難行動との比較

### (1) はじめに

この研究事例は海外における大規模避難の一例として当部会で紹介されており、ここでは文献1)を要約する形でその要点を報告する。

2012年4月11日に発生したスマトラ北部西方沖の地震によりスマトラ島アチェ州の州都バンダアチェ市で大規模な避難騒動が発生した。被害を起こすような津波は到達せず揺れによる被害もほとんどなかったが、2004年12月のインド洋大津波で過酷な被害を経験した同市では、海岸地域の住民10万人以上が津波の来襲を恐れて一斉に内陸に避難しようとし、市内各所で混乱と渋滞が発生した。この出来事から3週間後に、後藤は現地の研究者の協力を得て、住民の0.73%にあたる1,065名にインタビューし避難の実態を調査した。そして、後藤も参加した東日本大震災における岩手県山田町と宮城県石巻市の津波避難の実態調査結果と比較しながら取りまとめている<sup>1)</sup>。

### (2) バンダアチェ市と 2012 年 4 月 11 日スマトラ北部西方沖の地震

バンダアチェ市はスマトラ島北西端に位置し、2010年の人口は約22.3万人である。2004年12月28日のインド洋大津波では人口の約1/4が犠牲となり、市域の半分が壊滅する被害に見舞われた<sup>2)</sup>。生き残った

人々の努力とインドネシア内外の手厚い支援により2012年には復旧の第1フェーズが終了し人口も震災前のレベル以上に回復していたが、住民の津波に対する恐怖心は根強く、2011年3月11日の東日本大震災の様子も現地に関心を持って報道されていて、住民の警戒心は高いレベルにあった。

そのような中、2012年4月11日(水)15時38分にバンダアチェから約400km離れたスマトラ島北部西方沖の海底約23 kmでMw8.6の地震<sup>3)</sup>が発生した。インドネシア気象庁のBMKGは地震発生から4分54秒後に津波警報を発令し、更にその地震から2時間後の17時43分に最初の震源の南隣でMw8.2の地震が発生したため警報を継続して発令した。幸い2つの地震とも横ずれが主体で、観測された最大の津波は1.06m、一部地域の水産施設に軽微な被害が生じた程度であった。また、揺れによる大きな被害もなかった<sup>4)</sup>。

BMKGはバンダアチェ中心部から南南西約6kmの地点に置いた強震計でこの地震動を観測しており、その波形記録によれば20 galに近い揺れが約1分続いていた。その波形を使って後藤が計算した気象庁の計測震度は3.3であるが、地震計は山裾に設置されており、堆積地盤の上に広がった市の中心部や沿岸部の揺れは震度4以上であったと推測される。

### (3) 津波警報の伝達状況

BMKGの津波警報はメディアに伝達され、インドネシア国内の7つのTV局は地震発生後6～12分で特番やテロップにより津波警報発令を放送した。バンダアチェでは地震直後の停電を免れた地域があり、全住民の7 %程度がTVで情報を得ていた。比較的聴取者が多いとされるコミュニティFMラジオ局にはBMKGの警報を伝える仕組みがなかったが、ハンドトーカーを持ったりポーターが随時市内の様子を伝えた。一方、バンダアチェ市内と隣接地域にBMKGの津波警報サイレンが5基設置されていたが、何らかの理由で遠隔作動できず、そのうちの2基に技術者が出向いて地震から40分後と1時間後に手動で作動させた<sup>4)</sup>。

津波警報が伝えられない中でも大部分の住民は揺れから津波の来襲を恐れて避難を始めた。バンダアチェは標高の低い平坦な土地に発達しているため、津波避難には数キロ先の内陸に向かうか堅牢な建物の上層階に上がるかしかない。10万人を超える住民が内陸に避難しようとし、その7割はバイクを使用して市内各所で渋滞が発生した。さらに、遅れて鳴ったサイレンが実際の津波到来の警鐘と誤解されたり、2回目の地震が発生したりで、混乱は翌朝まで続いた。死者は6名と報告されているが高齢者の心臓麻痺が多かったとのことである。

### (4) インタビュー調査の方法

共同研究先の現地シャクアラ大学の研究者が研究助手1名と学生11名を組織し、大規模な避難が発生した沿岸地域を隈無く回って、住民1,065名の避難状況を聞き取り、併せて地図上に避難経路を書き取った。質問項目は東日本大震災津波避難合同調査団が山田町と石巻市で使用した質問項目<sup>5)</sup>とほぼ同じ内容とした。

### (5) 主な調査結果ならびに山田町・石巻市における調査結果<sup>6)</sup>との比較

#### (a) 回答者の年齢構成

図5.5.1が回答者の年齢と性別構成である。実際の同市全人口の構成<sup>7)</sup>とほぼ比例した結果が得られている。我が国と比較するとバンダアチェでは若年層が極めて多い。

#### (b) 地震発生時の居場所

図5.5.2はインタビューを受けた人が地震発生時に居た場所である。山田町・石巻市と同様の結果となっているが地震が発生したのが週日の午後であった事が共通している。

#### (c) 避難を始めたきっかけ

表5.5.1がどのようなきっかけで避難を始めたかを聞き取った結果である。強い揺れを感じたからが最も多いが、次いで隣人が避難するのを見たからが多い。表5.5.2に示す山田町と石巻市の調査結果では、大きな揺れを感じたからが多いのは同じであるが、防災行政無線の放送で警報を聞いたからが多い。バンダアチェでは公的な情報提供が乏しいため、周囲の人達の動きを見て判断することが多くなるのであろう。

#### (d) 津波警報の覚知方法

表5.5.3が津波警報をどこから聞いたかという問に対する答えである。山田町と石巻市はラジオや防災行政無線の屋外拡声器などの公的な情報源から警報発令を聞いたケースが多いが、バンダアチェでは周辺の人のかけ声や電話などの私的な情報源からが多い。津波サイレンも多いがサイレンが鳴らされたの

は40分後であるので、サイレンの本来の役割や津波警報の意味が理解されずに回答された可能性がある。また、緊急車両などのサイレンと取り違えている可能性もある。

(e) テレビからの情報とその影響

一部の地域で地震後19分間は停電しなかったため、テレビで情報を得た人が居た。図5.5.3と図5.5.4にテレビで警報を見た人と見なかった人の行動を比較した。図5.5.3から、テレビを見た人の避難の実施率がやや良い事が分かる。図5.5.4から、テレビを見た人は地震発生後の5分間は情報待ちになるが、津波警報発令が放送された5-10分後に多くの人が避難を開始したことが分かる。

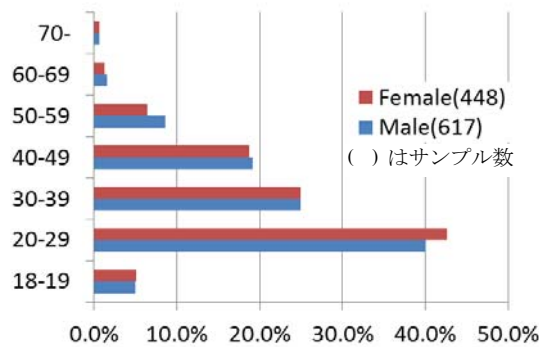


表5.5.1 バンダアチェ 避難を決めたきっかけ

選択枝	男性	女性
強い揺れを感じたから	43%	45%
津波警報サイレンを聞いたから	11%	13%
津波警報が発令されたと聞いたから	7%	6%
近隣の大勢の人が避難するのを見たから	28%	29%
家族が避難しようと言ったから	8%	5%
近隣の人やリーダーから避難するよう言われ	0%	1%
市の防災関係者から避難するよう言われ	0%	0%
その他	3%	2%
サンプル数	422	368

表5.5.3 津波警報をどこから聞いたか

情報の入手源	バンダアチェ	山田	石巻
テレビ	6.9%	8.9%	6.3%
ラジオ	2.8%	23.1%	29.4%
屋外拡声器(防災行政無線)	3.1%	53.1%	31.8%
津波サイレン	17.7%	-----	-----
公的機関からの呼びかけ	1.0%	3.1%	6.6%
家族や隣人のかけ声	49.0%	4.8%	17.1%
Tel.、SMS、e-mail	13.4%	1.8%	2.1%
その他	6.1%	4.7%	6.7%
サンプル数	1065	183	598

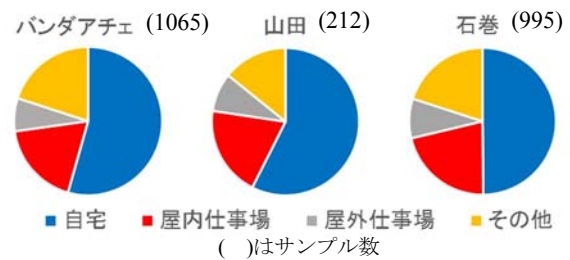


図5.5.2 地震が発生したときに居た場所

表5.5.2 山田町・石巻市避難のきっかけ

	山田	石巻*
強い揺れを感じたから	54%	29%
防災無線で警報を聞いたから	10%	24%
隣人やコミュニティーリーダーに従った	9%	15%
サンプル数	179	866

\*：石巻市の平野部のデータ

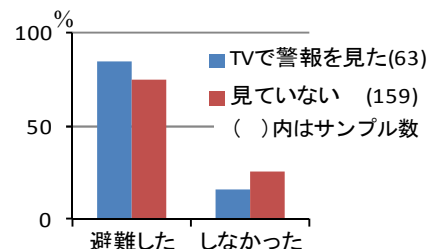


図5.5.3 TVからの情報取得と避難行動

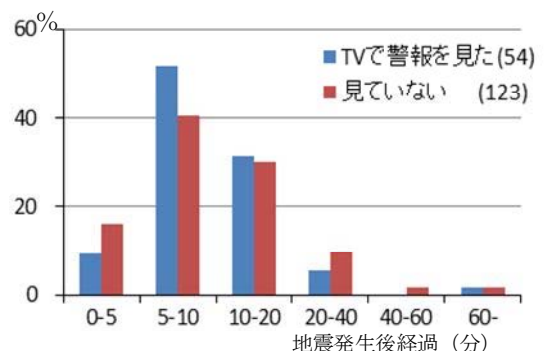


図5.4.4 TVからの情報取得と避難開始時間

(f) 海岸線からの距離見た避難実施率と避難開始時間

バンダアチェの海岸線は北東-南西に大凡直線であるのでその海岸線からの距離を目安に市域を表5.5.4に示す5ゾーンに分けて分析を行った。図5.5.5と図5.5.6はゾーン別に見た避難の実施状況である。海岸近くのAではおよそ90%の人が避難しているが、内陸のB~Eでは男性の避難率が54~73%に落ちている。Bの男性の19%が外に出て様子を見ていたと推定される行動を取っており、津波が見えてからでもバイクで逃げられたという2004年の大津波の経験が影響している可能性がある。また、男性の方が自分の居る場所を安全と考える傾向があるようである。

表 5.5.4 調査地域のゾーン区分

ゾーン	海岸線距離	主な土地利用状況	2004年インド洋大津波における被災状況	地震時にいた場所 回答者数
A	0~1km	漁村、養殖池	家屋は跡形無し。逃げ出さなかった住民は全滅。	102
B	1~2km	養殖池、住宅地	家屋は全壊。逃げ出さなかった住民の多くは死	295
C	2~3km	市街地、旧市街	建物の2階以上に避難できた住民は助かった。	471
D	3~4km	市街地、官公庁、企業	浸水被害は生じたが、住民の大部分は生存。	147
E	4~5km	住宅地、学生街	ほとんど被害無し。	50

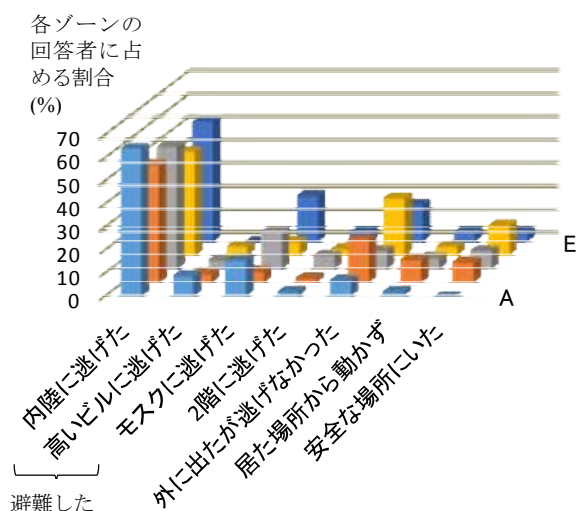


図 5.5.5 男性の避難実施状況

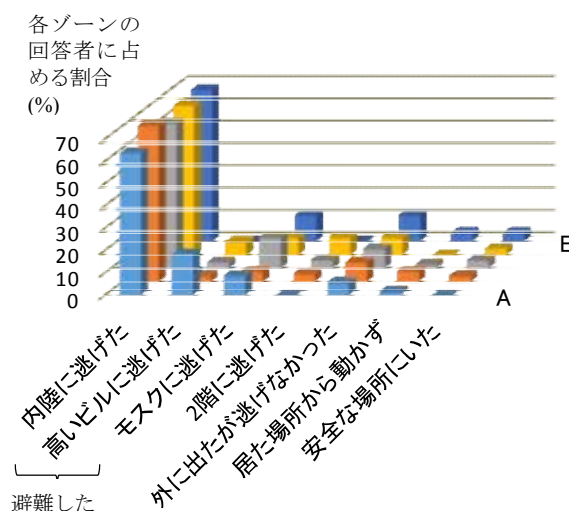


図 5.5.6 女性の避難実施状況

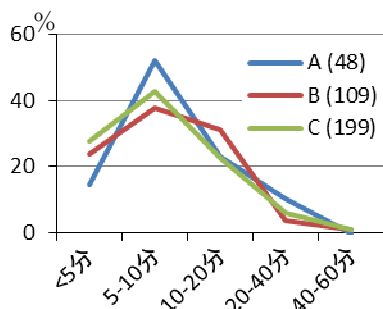


図 5.5.7 男性の避難開始時間

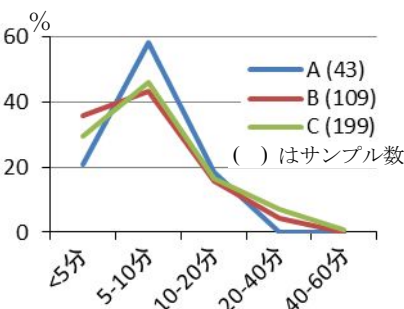


図 5.5.8 女性の避難開始時間

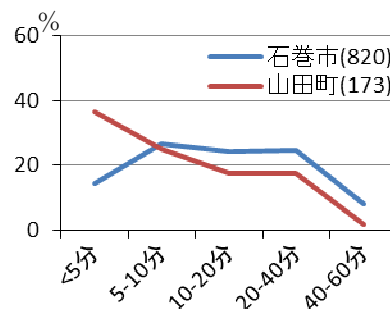


図 5.5.9 山田・石巻の避難開始時間  
(石巻市は平野部のデータ)

図5.5.7と図5.5.8は避難を開始した時間である。大部分の人は10分以内に避難を開始しているが、男性は女性よりやや遅い。図5.5.9に山田町と石巻市における調査結果を比較のために示した。山田町は津波に対する警戒心が高く約60%の人が10分以内に避難を始めている。石巻市平野部の津波に対する警戒



心が低かった事が明らかである。20～40分に避難がやや多くなっているのは、25分ほど早く大津波が到達したリアス部の様子がラジオなどで伝わったためと推定される。

(g) 避難に使われた交通手段

バンダアチェではバイクが日常の交通手段として使われており、図 5.5.10 に示すように避難でもおよそ 73%がバイクを使用した。自動車避難は 13%、徒歩が 12%であった。東日本大震災では自動車と徒歩がそれぞれ半数を占めており、バイク使用は極めて少ない。

図 5.5.11 は交通手段別の避難開始時間である。自動車による避難開始が最も早い。渋滞を避けるため早く避難しようとしたためと思われる。一方、徒歩による避難開始時間が遅い。徒歩の場合は比較的近距离にある市中のモスクに向かっていることが多い。近くの避難場所に行こうと思って時間的余裕があるから出発が遅れたか、あるいは何らかの理由で出発が遅くなりバイクや自動車では渋滞に巻き込まれるので徒歩を選択したか、どちらかと考えられる。山田町や石巻市でも徒歩避難の出発がやや遅くなっている。



図 5.5.10 避難に使われた交通手段

(h) 交通手段と渋滞

表 5.5.5 に交通手段と渋滞の関係を示した。バイク避難者の 88%、自動車避難の 95%が渋滞に巻き込まれている。自動車では山田町で 11%、石巻市平野部で 45%が渋滞に巻き込まれているが、バンダアチェの渋滞はそれらより遙かに激しかった。

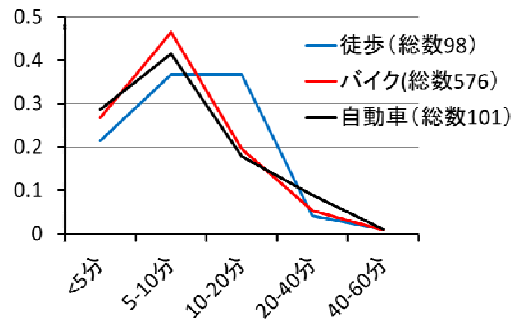


図 5.5.11 交通手段と避難開始時間

(i) 避難所要時間

図 5.5.12 は地震発生からの所用時間をパラメータに取ってその時間までに避難を終了した人の累積%を表 5.4.4 のゾーン区分で示したものである。D は C とほぼ同じであり E はデータ数が少ないので省略した。

最も海岸に近い A から出発した避難が比較的短時間で終了している。これは、一部に津波避難タワーがあることと、リスク認識が高いため早く避難を始めて渋滞に遭わなかったケースが多かったことによると思われる一方、B には大きな建物や施設がないため多くの人が内陸に逃げようとして渋滞の影響を受けたとみられる。C には大きなモスクや建物があるほか、このゾーンは B より内陸に逃げ易い位置にある。

図 5.5.13 は避難先と所要時間の関係である。80%の人が避難終了までに要した時間はモスクや大きな建物の場合 35 分、内陸の場合 60 分である。

表 5.5.5 交通手段と渋滞遭遇率

	徒歩	自転車	バイク	自動車
渋滞に巻き込まれた	15%	80%	88%	95%
渋滞を見たが巻き込まれなかった	38%	0%	9%	5%
渋滞を見なかった	47%	20%	3%	0%
サンプル数	98	15	576	101

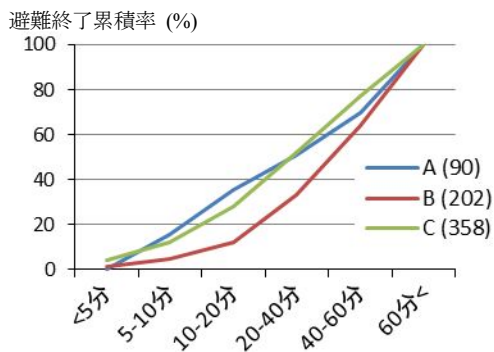


図 5.5.12 所用時間とゾーン別の避難終了累積

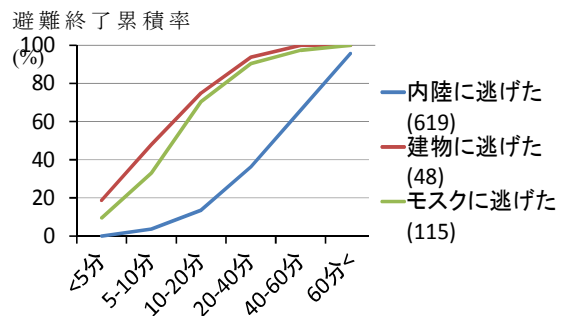


図 5.5.13 避難先と所要時間

図5.5.14は交通手段と所要時間の関係である。徒歩の場合は近くに避難先を定める上に渋滞の影響を受けないため所要時間が短くなる。

(j) 用事後避難の割合

表5.5.6は避難を始めるまでに何をしていたかである。何もせずに直ぐ避難が男女平均で46%あるが、山田町では20%、石巻市平野部では25%である。外出先から一旦帰宅が男女平均で12%、子供を学校に迎えに行った人が13%いる。Dで外出先からの帰宅が多いのは職住が分離した住宅街だからであろう。

山田町と石巻市平野部では外出先から自宅に戻った人が23%と20%、学校などに家族を迎えに行った人が6%と12%である。職住分離の程度と子供の数の違いを考慮すれば、バンダアチェと石巻市・山田町における帰宅や迎えなどの行動の発生割合に大きな相違はないと考えられる。

家財を整頓した人が1~2%で、山田町と石巻市平野部の7%、18%と比較すると少ない。バンダアチェでは危機意識が高く逃げることを優先した人が多かったことと、揺れが大きくなかったことが影響していると思われる。

リスクが高いAで周囲に声を掛ける割合が高く8%であった。同じ設問に対し、山田町が2%、石巻市平野部が17%であったので、リスクの高さと助け合い行動の関係が我国と逆になっている。

避難準備に於ける男女の役割を比較すると、男性が家族の迎えで学校などに行き、女性が避難のための荷物の準備や家の戸締まりをする傾向が見える。

(k) 避難しなかった理由

全体で26%の人が避難しなかった。表5.5.7は避難しなかった理由である。津波が来ることを確認してから逃げれば良いとした人が24%もいるのは、2004年の大津波の時にバイクを使えば逃げ切れた事例があるからであろう（その時は避難する人が少なく渋滞がなかった）。ビルの上層階に逃げれば良いとの答えもやや多いが、2004年の大津波の時に、やや内陸のC、Dでは2階かその屋上に上がれば助かったためであろう。

山田町では9%、石巻市平野部では16%が津波が来るまで逃げなかった。その理由を表5.5.8に示すが、バンダアチェの人達と共通するところが多い。ただし、我が国の場合は高齢者が多く、かつ亡くなった人の情報が表5.5.8には含まれていないことに注意する必要がある。

(6) 避難ルートの図化による分析

インタビューで聞き取った785人の避難ルートを図化しその中から渋滞区間（移動速度が1/10以下に低下した区間）を抽出し重ね書きしたものが図5.5.15である。地図は北を約40°右回転して示している。

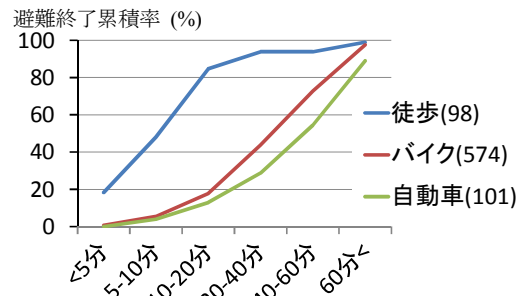


図 5.5.14 避難方法と所要時間

表5.5.6 避難を始めるまでに何をしていたか

	A~E		A	B	C	D	E
	男	女					
何もせずに直ぐ避難	48	44	45	42	48	44	58
外出先から帰宅	17	6	15	5	13	18	8
家族の避難準備を支援	18	14	21	18	16	11	8
家族を迎えに学校へ	17	9	9	17	12	19	8
海の様子を見に行く	1	0	0	1	0	2	0
荷物をまとめる	17	30	13	38	21	15	11
散らかった家財を整頓	1	2	3	2	0	3	0
家の戸締まりをする	41	55	60	60	41	42	24
事務所を閉める	9	9	8	11	11	6	0
メール等で家族に連絡	16	13	16	18	10	15	26
周囲に呼びかけ	4	6	8	5	5	1	0
回答者数	425	370	92	206	360	99	38

(複数回答、回答者数に対する%)

表 5.5.7 避難しなかった理由

	A	B	C	D	E
自分の所まで津波は来ない		18	34	43	57
津波が来るのを確認してか		32	24	18	7
避難の準備に時間がかかった		0	2	2	7
家族を待つか探していた		10	7	4	0
学校など家族を迎えに行っ		4	2	2	0
ビルの上層階へ逃げれば良		11	18	14	14
神の意志に任せた		11	9	10	7
その他		14	4	8	7
サンプル数	6	91	116	51	14

(Aはデータ数が過小)

バンダアチェにはCとDの間に海岸線とほぼ並行に走る幹線道路（図中の白破線）があり、海側のA、B、Cから内陸側に逃げるためにはこの幹線道路を横断しなければならない。この道路は片側2車線であるが中央分離帯が設けられており、自動車はもとよりバイクも担がなければ乗り越えられない。反対車線に出るためには主要な交差点まで行くか、場所によっては数百メートル先の中央分離帯の切れ目まで行く必要があり、これが混乱の1要因となった。図5.5.15に渋滞の特に激しかったところをサークルで示している。海側から街の中心部に入る主要道路の交差点部分（白）とそれが幹線道路へ接続する部分（橙）で渋滞していることが分かる。また、幹線道路自体も渋滞している。図中の赤サークルは普段から交通量が多い信号式の交差点で信号が消え激しい渋滞が発生したとのことである。さらに、上述の幹線道路を越えた内陸側でも渋滞が発生（緑）している。多くの住民がさらに数キロメートル先の丘陵部まで避難しようとし郊外に出る主要道路が集約され道路容量が少なくなる所で再度渋滞が発生した。

海岸線から少し離れたところを幹線道路が並行して走る所はわが国でも多く見られ、海岸側から内陸に逃げようとする場合の交差がボトルネックとなることは東日本大震災でも見られた現象である。

表5.5.8 山田町と石巻市の避難しなかった理由（亡くなった人の理由含まれていない）

	山田町	石巻市*
自分の所まで津波は来ない	42%	35%
様子を見ていた	10%	14%
避難の準備に時間がかかった	6%	4%
家族を待つか探していた	7%	5%
ビルの上層階へ逃げれば良	3%	6%
防潮堤が防いでくれる	3%	1%
その他	29%	35%
サンプル数	28	291

\*：平野部のみデータ

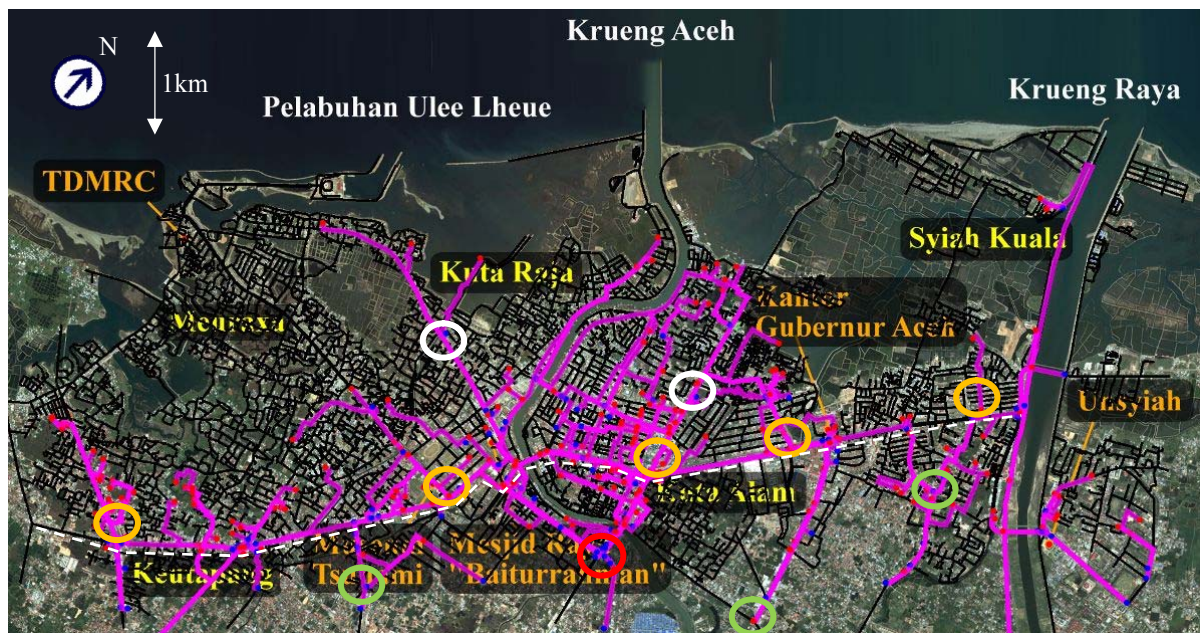


図 5.5.15 インタビューから聞き取った渋滞区間の重ね書き

### (7) 結び

- (1) 2012年4月11日の北部西方沖の地震(Mw8.6)で10万人を超すバンダアチェ市民が津波を恐れて緊迫した避難をおこなった。幸い大きな津波は発生せず被害はほとんど無かったので、3週間後に1,065人の住民にインタビューすることが出来、避難実験や防災訓練などでは得られぬ貴重な実避難記録が得られた。
- (2) バンダアチェの住民の多くは揺れを感じて避難していた。この点では東日本大震災の山田町・石巻市（平野部、以下同じ）の住民の避難行動と共通している。ただし、バンダアチェではサイレンなどで津波警報発令を伝える手段が有効に機能せず、大部分の住民は口伝情報で行動して混乱した。一方、テレビを見ることができた一部の住民は警報発令が5-10分後に放送されると迅速に避難していた。
- (3) バンダアチェの住民の大部分はバイクを使い安全な内陸奥部に逃げようとした。渋滞のため内陸に

行くのに40分以上かかったのに対し近隣の建物やモスクへは徒歩で避難は20分以内であったが、それでも多くの住民は内陸に向かった。

(4) 一旦自宅にもどったり子供を学校に迎えに行ったりする行動の割合は、職住同一の割合や子供の多さを考えると山田町・石巻市とほぼ同率であった。家庭事情で避難遅れが発生する課題は共通である。

(5) バンダアチェでは避難環境が厳しくてリスク認識が高い地域ほど近隣の人達と助け合う傾向が見られた。一方、山田町の避難における助け合い行動と石巻市のそれとを比較すると、バンダアチェとは逆で、リスク認識の高い山田町で声かけが少なく一人で逃げる「津波てんでんこ」的傾向がみられた。

(6) 避難開始時間は自動車、バイク、徒歩の順であった。自動車使用者は過去の経験から速く出ないと渋滞に遭うことが明白なため急いだのであろう。一方、バイク使用者の一部には遅れても逃げ切れるという思いがあったと思われる。徒歩による避難者は近くに行く事が前提となるので時間的余裕を持ったのか、あるいは避難開始が遅れた結果徒歩を選択したためと思われる。

(7) やや安全とみられる地域の男性に避難しない傾向が見られた。そのような地域で津波が来るのを確認してから逃げるとした人が多いのは2004年の大津波の際にバイクで逃げられた事例があるからであり、2階に逃げるがやや多いのも2階かその屋根に上がれば津波をやり過ごせた事例があるからであろう。直近の経験を都合良く解釈する傾向は我が国とも共通である。

(8) 海岸線から少し離れたところを海岸と並行に走る幹線道路が海岸側から内陸側に逃げるバイクや自動車の流れの障害となった。幹線道路との交差がボトルネックとなるのは東日本大震災でも見られた。

## 参考文献

- 1) 後藤洋三, 印南潤二, Muzailin AFFAN, Nur FADLI : スマトラ北部西方沖地震で生じたバンダアチェ住民の大規模避難行動の調査と分析, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) Vol. 69 (2013) No. 4 p. I\_182-I\_194, 2013.
- 2) 土木学会: スマトラ沖地震・津波被害調査報告, [http://www.jsce.or.jp/library/eq\\_repo/Vol2/09/report.pdf](http://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol2/09/report.pdf) (2016.2.1閲覧).
- 3) USGS : Earthquake Hazards Program, M8.6 - off the west coast of northern Sumatra, [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000jhh2#general\\_region](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000jhh2#general_region) (2016.2.1閲覧).
- 4) BMKG, BNPB, BPBD (Province of Aceh, Banda Aceh, West Sumatra Province and the City of Padang) : Evaluation of Tsunami Early Warning System (Initial Report with Quick Review), compiled and published by QUICK REVIEW TEAM, 2012.
- 5) 後藤洋三, 池田浩敬, 市古太郎, 小川雄二郎, 北浦勝, 佐藤誠一, 鈴木光, 田中努, 仲村成貴, 三上卓, 村上ひとみ, 柳原純夫, 山本一敏 : 東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果 — 調査概要 —, 日本地震工学会論文集Vol. 15 (2015) No. 5 特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」 p. 5\_97-5\_117, 2015.
- 6) 後藤洋三, 池田浩敬, 市古太郎, 小川雄二郎, 北浦勝, 佐藤誠一, 鈴木光, 田中努, 仲村成貴, 三上卓, 村上ひとみ, 柳原純夫, 山本一敏 : 東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果 — データ特性分析 —, 日本地震工学会論文集Vol. 15 (2015) No. 5 特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」, p. 5\_118-5\_143, 2015.
- 7) Regional Planning and Development Board, Banda Aceh Municipality : BANDA ACEH IN FIGURES, 2011, *The Central Bureau of Statistics and the Regional Planning and Development Board of Banda Aceh Municipality*, 2011.

## 5.6 チリ国における津波避難調査事例について

### (1) はじめに

この調査事例は海外における大規模避難の一例として、当部会で紹介されており、ここでは文献1)～3)を要約することにより要点を報告する。

SATREPSチリプロジェクト (JST-JICA支援) は「津波に強い地域づくり技術の開発」を主題とし、代表、富田孝史、国立研究開発法人・港湾空港技術研究所により、2011年度～2015年度に展開されてきた。筆者(村上)はこのプロジェクトに参加し、WG4a 津波避難と防災教育・防災リーダー育成 (日本側グループ代表、三浦房紀、山口大学教授) の一員として、チリ側研究者との共同調査・研究を進めてきた。それに関して、文献1), 2), 3), 4)を要約する形で、チリにおける津波避難の特性と日本との違い、防災対

策に関する知見を考察したい。

チリはナスカプレートが南アメリカプレートの下に沈みこみ、M8クラスの地震と津波が多い。1960年チリ・バルディビア地震(M9.5)は世界最大規模の地震として知られ、日本にも津波が襲来して三陸地方に死者138名の被害をもたらした。近年では、2010年チリ・マウレ地震(M8.8)で大きな津波被害が発生し、2014年チリ北部イキケ沖地震(M8.2)でも規模は小さいが津波が襲来した。

津波避難のヒアリングやアンケート調査を実施してきた。チリでは政府のONEMI(危機管理庁)が津波警報の発表伝達、津波対策の推進、ハザードマップや避難マニュアル、避難訓練の企画支援等を担っている。

### (2) 2010年マウレ地震津波からの避難に関するヒアリング<sup>1)</sup>

チリ現地時間の2月27日(土)午前3時34分(日本時間で27日(土)午後3時34分)発生、M8.8。人的被害は死亡525人、行方不明25人(内、津波原因による死亡150人、行方不明24人)、2011年1月31日現在(Ministry of Interior, Chile: Information by Antonios Pomonis, GEM project)であった。被災地のタルカワノ市と漁村地区、トメ市とディチャト地区でのヒアリングより、国の発表(海軍SHOAと危機管理庁ONEMI)により津波無しとラジオで放送したが、住民は、過去の教訓から大地震で津波が来ると直感して避難したこと、死亡率はタルカワノ浸水域で約0.1%、ディチャトで約0.5%と推定され、東北の津波被災地に比べて非常に低いことが判明した。津波の第3波が大きく、1.5時間～2時間後に襲ってきたことで、時間の余裕があったが、避難してから低地に戻る危険もあった。学校防災教育は2005年頃から強化されてきた。津波ハザードマップは海軍作成で、標高を基準にゾーニングし、2010年津波以降、公開されている。



写真5.6.1 左：タルカワノ市Tumbes地区 右：トメ市ディチャト地区

### (3) タルカワノ市、トメ市ディチャト地区での避難アンケート調査結果<sup>2)</sup>

文献<sup>2)</sup>より、2010年マウレ地震における住民避難のアンケート結果を要約する。調査地区と件数を表5.6.1に示す。津波警報は約60%が無し、20%が近所の人や家族の呼びかけと回答している(図5.6.2)。地区別の避難開始時間(図5.6.3)より、近隣や家族の情報率が高いDichatoでの避難が早く、タルカワノの中心部で年齢層が高く、3、4階建のアパートが多い地区で避難しなかった割合が高いことがわかる。20分以内の避難が約70%を占める。

表5.6.1 アンケート調査地区

Zones	cases	%
DCH Dichato	56	29.0
TZ2 Talcahuano Central	23	11.9
TZ3 El Morro	45	23.3
TZ4 Salinas	69	35.8
Total	193	100.0

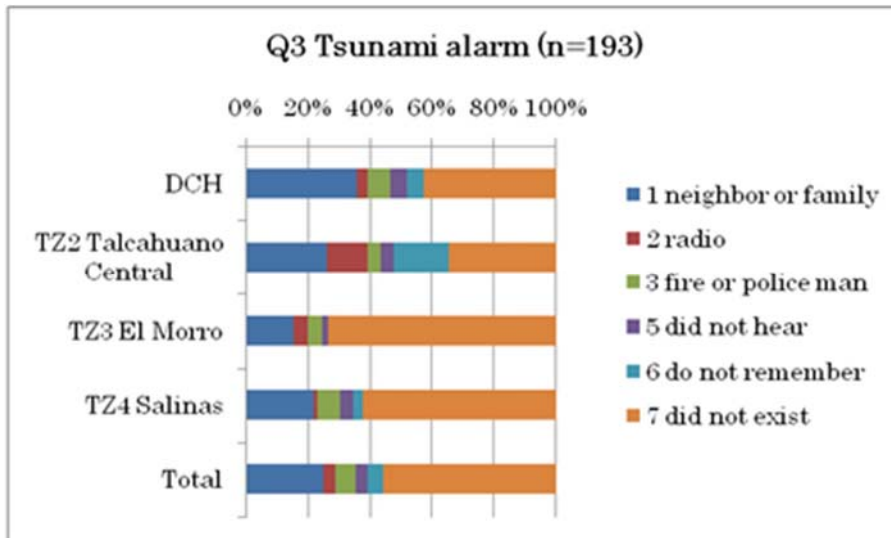


図5.6.2 調査地域毎に見た津波警報の收受状況 (Q3, n=193).

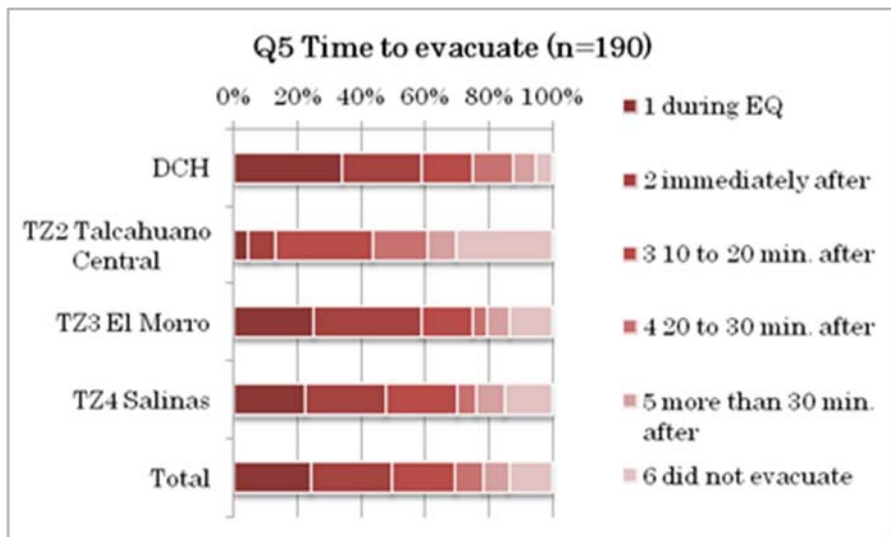


図5.6.3 調査地域毎に見た避難開始時間の分布 (Q5, n=190).

・2010年チリ中部・マウレ地震(Mw8.8)、人的被害は少ない、津波警報が出なかった（一度発表された警報が短時間で取り消された、ラジオでは津波の恐れ無しと報道）にも関わらず。避難が早い、立ってられないほどの揺れなら津波が来るといふ、家族の教えがあり、公的な情報・警報に頼らずいち早く逃げる傾向が知られる。アンケート結果（タルカワノ市・トメ市ディチャット地区）、避難率、建物上階への避難、避難しなかった理由、高齢者の問題、低平な郊外団地で車避難率が高いなど課題も明らかになった。

#### (4) 2014年チリ・イキケ沖地震 (M8.2) によるイキケ市での避難アンケート結果3)

2014年4月1日(火)20時46分（現地時間）にチリ北部のイキケ市沖でM8.2の大地震が発生した。イキケ市は人口約25万人、地震の空白域として警戒されており、SATREPSプロジェクトのパイロット地区になっていた。津波ハザードマップを図5.6.4に示す。3月の前震、4月1日本震、4月2日の余震について、住民への避難アンケート調査をチリの地元コンサルタント会社委託により実施した(表5.6.2)。



図5.6.4 イキケ市の津波避難マップ（左が北、下が太平洋）

表5.6.2 イキケ沖地震の津波避難アンケート概要

調査期間：	プレテスト 2014年8月下旬（50人）	本調査 2014年9月下旬～10月上旬
調査方法：	各戸訪問によるアンケート方式	
回答人数：	男276人、女332人、計608人	
回答年齢：	19歳以下：20人 20～39歳：236人 40歳～59歳：221人 60歳以上：163人	
Zone別回答数：	Zone2：303人 Zone3：203人 Zone4：102人	

海岸からの距離と避難開始時期の関係を図5.6.5に示す。ここで、地震発生時から5分以内を避難開始時間が早い、6分以上を遅いと区分する。5 block以内(約500m以内)を海岸までの距離が近い、5 block以上(約500m以上)を海岸までの距離が遠いと区分する。海岸から遠い人は早い避難が減少し、避難しなかった人が増える傾向にある。

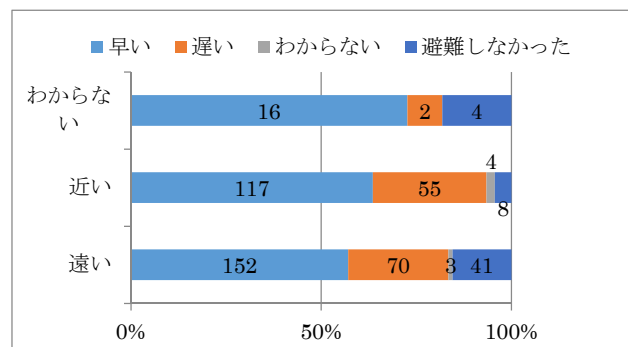


図5.6.5 海岸までの距離と避難開始時間 (N=472)

避難の移動手段は徒歩が多数を占め、自動車避難は4.3%と少数であった。しかし、徒歩の避難者が車に感じた身の危険（図5.6.6）は多数を占め、とくに、避難先の高台が1km未満と近いZone 4より、避難先が約2kmと遠いZone2、Zone 3で通りを渡るのに恐怖を感じた割合が50%を超えて高いことがわかる。

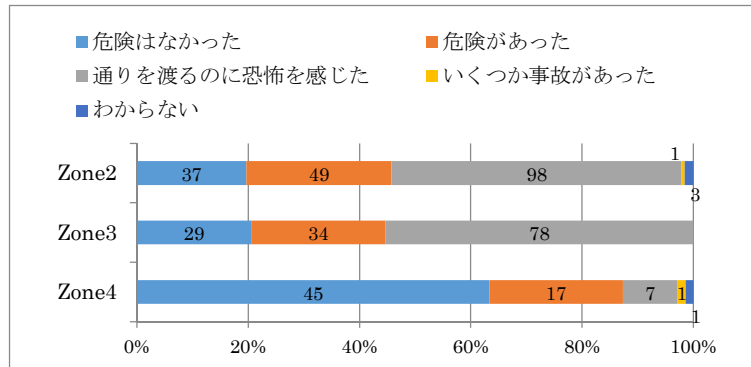


図5.6.6 Zone別の歩行者が車に感じた身の危険 (N=400)

避難開始時間について、イキケ市と東日本大震災の避難アンケート(気仙沼市の結果)と比較する(図5.6.7)。イキケ市の場合、一番高いのは地震後5分以内で約60.4%。地震後10分以内では約90%になる。気仙沼市では、地震(3月11日(金)午後2時46分)後10分以内に避難を開始した人の割合が一番大きく、15分以内では約66.9%が避難を開始している。

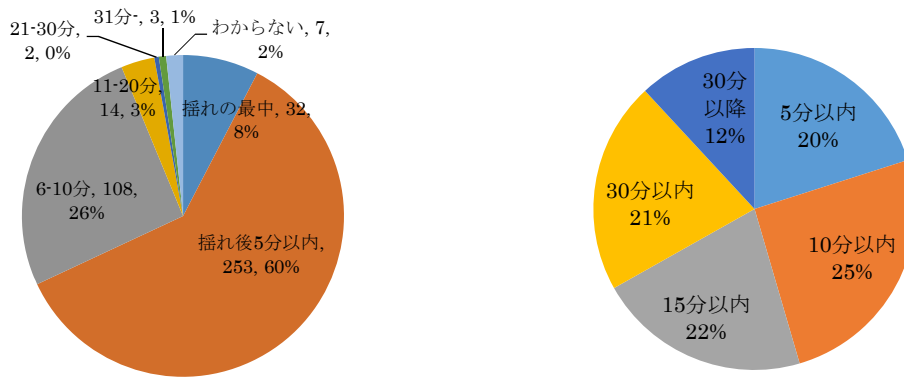


図5.6.7 避難開始時間(左:イキケ N=419、右:気仙沼市、N=7999)

避難率、避難開始時間の分布、東日本大震災の気仙沼等より避難は早い。避難しなかった理由に津波はここまで来ないと思った、家を盗難から守るために残った等が目立つ。高齢者や障がいによる避難困難の問題もあり。津波危険区域を標高30mで全国一律に線引きしており、海岸地形条件等を考慮していない。危険区域を当初20mで設定していたが、東日本大震災の激甚な津波被害を教訓に、25m、30mと引き上げられたもの。アンケート回答で車避難率は数%と低いものの、徒歩避難の途中、車が危険だったという回答割合は、避難距離が長い地区ほど高い。イキケは車保有の税率が低く、車保有率がチリの中で高い。今回は夜21時頃の地震だったので家族と一緒に避難できたが、平日昼間の地震の場合は車での帰宅交通が増える恐れあり、東日本大震災と共通する課題もみえる。

#### (5) まとめ

チリでは津波避難が早い、警報を待たない傾向が強いが、その背景に海岸防潮堤が無い、高さが低いことが影響していると思われる。2010年マウレ地震で被災して復興途上にあるタルカワノ市やトメ市ディチャット地区を訪ねた際、漁村集落では防潮堤がなく、沿岸の住宅は1階をピロティ形式にして津波被害を低減する対策が見られた。ディチャット地区では、海岸を公園と道路のバッファゾーンとして、復興住宅を後退させている。チリでは海岸の環境と景観に公共的な高い価値を認め、巨大な防潮堤で海が見えなくなるような建設は容認されないし、その費用を税金で賄うことも考えにくい。巨大な防潮堤が無いので高潮や津波からいち早く住民が避難し、訓練参加率も高く、避難して被害がなくても無駄と



考えずに、また地震があれば避難するという作戦に日本も学ぶところがある。

#### 参考文献

- 1) 村上ひとみ, Ignacia Calisto, 三浦房紀：2010年チリ・マウレ地震の被災地域ビオビオ州における津波対策ヒアリング調査、2012.12 日本地震工学会大会 2013梗概集, pp.
- 2) Murakami, H., Ramos, L.: Tsunami evacuation questionnaire survey for cities of Talcahuano and Dichato in the 2010 Maule earthquake in Chile Part 2 Survey results, 2014, Proc. 14th Japan Earthquake Engineering Symposium
- 3) 村上ひとみ、奥村与志弘：2014年チリ・イキケ地震の津波避難に関する研究 その1 行政・コミュニティ・商業地区のヒアリング調査、2015、日本建築学会中国支部研究報告集, No. 38, paper No. 1403
- 3) 村上ひとみ、長瀬裕也、高橋征仁、朝位孝二、池田誠、佐瀬浩市：2014年チリ・イキケ地震の津波避難に関する研究 その2 住民アンケート結果にみる移動手段と所要時間、2015、日本建築学会中国支部研究報告集, No. 38, paper No. 1404
- 4) 気仙沼市(2013)：津波避難等に関する市民アンケート調査報告書

## 5.7 雨量にもとづく土砂災害警戒避難基準に関する海外文献調査

### (1) はじめに

豪雨による斜面やのり面の崩壊（広義には、地すべり、土石流、落石等をふくむ『マスマーブメント』）は、我が国の自然災害のなかで特に大きな件数割合を占めており、社会一般において豪雨に対する防災は重要な課題である。さまざまな豪雨防災対策の中で、どれくらいの雨が降ればマスマーブメントが発生するかという『雨量しきい値』の決定は、適切な警戒、避難や鉄道、道路の通行規制等を実施するうえできわめて重要な手段となっている。さらに豪雨による斜面やのり面の崩壊への対策は、日本だけでなく、急傾斜地を抱える海外の多くの国々においても重要な課題である。このように国や機関を超えた共通の課題であり、かつそれぞれの国や機関において多くの個別的な研究が重ねられていながら、従来それらを俯瞰的な視点から比較する研究は数少なかったし、海外における研究事例についても限られた専門家以外にはほとんど紹介されていなかった。

本稿では、既往文献にもとづいて海外における豪雨災害に対する警戒・避難基準雨量しきい値に関する研究を概観し、今後の課題について述べる。

### (2) 概論

雨量しきい値の概念は、Caine (1980) によって提示された降雨強度とマスマーブメント発生との関係と Starkel (1979) によるマスマーブメントを引き起こす降雨強度と持続時間の関係についての理論的考察の上に構築されている。Campbell (1975) は、マスマーブメントの発生要件として、表層土壌の有効強度が低下を引き起こす正の間隙水圧により一時的に帯水層を形成する激しい降雨の浸透を仮定した。Caine (1980) は、土石流の最小降雨強度持続時間しきい値を開発するにあたって、公開された73件の世界的中の表層崩壊例データを利用した。

表層崩壊を誘発条件としての雨量しきい値は、世界中の多く地点において同定されており、いくつかのケースではしきい値はマスマーブメント警報システムの基礎となっている。また、降雨データをリアルタイムで降雨のしきい値と比較するマスマーブメント警報システムが幾つかの地域で実用に供されている。香港 (Brand(1995), Hansen(1995)) では約50台の自動雨量観測システムが、リアルタイムで降雨量を監視し、民間防衛当局に重要な雨量の情報を提供している。カリフォルニア州サンフランシスコ湾地域で稼働しているリアルタイムマスマーブメント警報システムは、国立測候所の気象衛星によって取得した降雨情報にもとづいて地すべりの警告を発令するための降雨量のしきい値と比較により定量的なマスマーブメント予測を行う (Wilson et al. (1993))。このしきい値の検証として、1986年2月の嵐による地すべりの警告の発令時間は、実際の地すべりの発生時刻とよく一致していることが判明した (Keifer et al. (1987))。

### (3) 物理モデル

物理モデルは、空間的な斜面安定モデルであり、地盤工学の分野においてひろく採用されている。斜面の安定性・不安定条件に降雨パターンと履歴を関連づけるため、物理モデルは、浸潤モデルを内蔵し、地面に浸透水の蓄積を予測する目的で様々なアプローチが提案されている。Wilson (1989) が提案した「リーキー(漏洩)バレル(樽)」モデルでは、リーキーバレルは、所定の速度で上から水を受け取り、異なる速度で下から水を失う。充水と漏れの組み合わせにより、水の蓄積と間隙水圧の上昇による斜面の不安定化が表現される。Wilson and Wieczorek (1995)はサンフランシスコ湾地域のラ・ホンダでの土石流の発生予測にリーキーバレルモデルを使用した。また、Crosta and Frattini (2003) は、Montgomery and Dietrich (1994)の定常モデル、Green and Ampt (1911) および Salvucci and Entekabi (1994)の一過性「ピストンフロー」モデル、Iverson (2000) による一過性拡散モデルの3種類の浸透モデルを北イタリアのレッコ郡における土石流の発生場所と時間の予測に用いて比較した。

物理モデルは、斜面崩壊を誘発するのに必要な降水量、及び予想マスマーブメントの場所および時間を決定するマスマーブメント警報システムを構成する技術要素として重要である。ただし、制限が存在する。物理モデルは、マスマーブメントの開始を制御する水文学、岩相、形態学、土壌特性に関する詳細な空間情報を必要とする。この情報は、大面積にわたって正確に収集することが困難であり、まれに使用可能であったとしても、たいいていの場合、試験領域の中に限られる。物理モデルは、降水量の測定値と位置と斜面崩壊の時間が知られている降雨イベントを使用して校正される必要がある。この情報は、一般的に利用困難であるかきわめて高価である。また、物理ベースモデルは、表層崩壊(スライドや土石流)の予測には有効であるが、土層のより深い位置にすべり面を有する地すべりの予測には効果的でない。

### (4) 経験モデル

経験モデルによる雨量しきい値は、マスマーブメントをもたらした降雨イベントを研究することによって定義される。しきい値は、通常、片対数または両対数座標を用いてマスマーブメントをもたらした降雨条件に下界線を引くことによって得られる。最も一般的には、しきい値は、任意の厳密な、数学、統計、または物理的な基準なしに、すなわち、視覚的に描かれる。斜面崩壊をもたらさなかった降雨条件に関する情報が利用可能な場合(例えば、Onodera et al.(1974), Lamb (1975), Tatizana et al. (1987), Jibson (1989), Corominas and Moya (1999), Biafiore et al. (2002), Marchi et al. (2002), Zezere and Rodrigues (2002), Pedrozzi (2004), Giannecchini (2005))は、しきい値はマスマーブメントを発生させた降雨条件と発生させなかった降雨条件を最も明瞭に区切る境界として定義される。これ以外の方法として、斜面崩壊数を用いてしきい値を構築することが考えられる。

降雨による土砂災害発生の可能性を予測する経験的モデルの構築の鍵のひとつは降雨強度の定義である。降雨強度は、最も一般的には一時間当たりミリメートル(またはインチ)で測定された期間内に蓄積降水量、または期間中の降水量の割合として定義される。観察期間の長さによっては、降雨強度は降雨強度、または時間の降水の平均値(毎時強度)、日(日強度)、またはより長い期間の「瞬間的な」強度を表すことができる。長い観察期間については、降雨強度がピーク観察期間中に発生したピーク降雨強度の平均値を表す。したがって、短期および長期にわたって測定された降雨強度は異なる物理的な意味を持っている。このことは降雨強度にもとづいて降雨継続時間の範囲にわたる降雨モデルの定義を複雑にしている。マスマーブメント開始のための経験的なしきい値は、全世界、地域、またはローカルしきい値として緩やかに定義することができる。グローバルしきい値は、独立して地域ごとの地形、岩石や土地利用条件とは無関係に、それ以下のレベルではマスマーブメントが発生しない普遍的な降雨パターンを確立することを目的とするものである。

グローバルしきい値は Caine(1980)、Innws(1983)、Jibson(1989)、Clarizia(1996)らによって提案されている。地域のしきい値は同じような気象、気候、および地形学的特性をもつ面積数平方キロメートルから数千平方キロメートルの地域のために定義されており、潜在的に定量的な空間的な降雨予測、評価、または測定値にもとづく地すべり警報システムへの適用に適している。局地しきい値は、明示的または暗示的に気候の政権と地形設定地元を考慮し、数平方キロメートル程度以下の範囲における単一のマスマーブメントの評価に適用される。

この分野の文献調査によって明らかになる特筆すべき事実の一つは、マスマーブメントの発生を特徴付ける唯一最良の降雨の観測特徴量などというものは存在しないということである。以下にマスマーブメント発生を経験的なしきい値の定義について文献で使用されている25種類の降雨量と気候変数を示す。それらの間に見られる言語矛盾や意見の相違は、それらのしきい値を相互に比較することをきわめて困難にしている。

- $D$  (h, または days): 降雨継続時間 (Caine, 1980)
- $D_c$  (h): クリティカルな降雨の継続時間 (Aleotti, 2004)
- $E_{(h),(d)}$  (mm): 累積雨量。降り始めからイベント発生までの雨量合計。 $h, d$  はそれぞれ考慮する時間の時間数あるいは日数 (Innes, 1983)
- $E_{MAP}$  (無次元量): 正規化累積雨量 (イベント発生時の累積雨量を MAP で除した値) (Guidicini and Iwasa, 1977)
- $C$  (mm): クリティカル雨量 (降雨強度の顕著な上昇から最初のイベントの発生までの雨量) (Govi and Sorzana, 1980)
- $C_{MAP}$  (無次元量): 正規化クリティカル雨量 (クリティカル雨量を MAP で除した値) (Govi and Sorzana, 1980)
- $R$  (mm): 日雨量 (イベント発生の日における1日の総雨量) (Crozier and Eyles, 1980)
- $C_{MAP}$  (無次元量): 正規化日雨量 (日雨量を MAP で除した値) (Terlien, 1998)
- $I$  (mm/h): 降雨強度 (一定期間における降水量。計測期間内におけるピークあるいは平均降雨強度) (Caine, 1980)
- $I_{MAP}$  (1/h): 正規化降雨強度 (降雨強度を MAP で除した値) (Cannon, 1988)
- $I_{max}$  (mm/h): 最大時間雨量 (1時間当たり雨量の最大値) (Onodera et al, 1974)
- $I_p$  (mm/h): ピーク降雨強度 (降雨イベント中の降雨強度の最大値。短時間間隔で測定された詳細な雨量データにもとづいて計算。) (Wilson et al., 1992)
- $\hat{I}_{(h)}$  (mm/h):  $h$  時間平均降雨強度 ( $h$  は通常 3 から 24 時間) (Govi and Sorzana, 1980)
- $I_C$  (mm/h): クリティカル時間降雨強度 (Heyerdal et al., 2003)
- $I_f$  (mm/h): イベント発生時降雨強度。短時間間隔で測定された詳細な雨量データにもとづいて計算。) (Aleotti, 2004)
- $I_{(f)MAP}$  (1/h): 正規化イベント発生時降雨強度 (イベント発生時降雨強度を MAP で除した値) (Aleotti, 2004)
- $A_{(d)}$  (mm): 先行雨量 (イベント発生時刻までの  $d$  時間に降った雨量の合計) (Govi and Sorzana, 1980)
- $A_{(MAP)}$  (mm): 正規化先行雨量 (先行雨量を MAP で除した値) (Aleotti, 2004)
- $A_{(y)}$  (mm): 先行一年間雨量 (イベント発生時刻までの一年間に降った雨量の合計) (Guidicini and Iwasa, 1977)
- $A_{(y)MAP}$  (無次元量): 正規化先行一年間雨量 (先行一年間雨量を MAP で除した値) (Guidicini and Iwasa, 1977)
- $F_C$  (無次元量): 最終係数 (正規化先行一年間雨量  $A_{(y)MAP}$  と正規化累積雨量  $E_{MAP}$  の和) (Guidicini and Iwasa, 1977)
- MAP (mm): 年平均降水量 (地域の気候環境条件の代理変数) (Wilson and Jayko, 1997)
- RDs (#): 年平均雨天日数 (地域の気候環境条件の代理変数) (Wilson and Jayko, 1997)
- DRN (mm/#): 雨天日あたり降水量 (年平均降水量を年平均雨天日数で除した値) (Wilson and Jayko, 1997)
- $N$  (無次元量): 異なる2地域での MAP の比 (Barbero et al, 2004)

## (5) 災害発生の降雨量しきい値

数多くの文献で提案されている降雨測定量の組み合わせにもとづくしきい値には様々なカテゴリーが存在するが、最も一般的なものは次の一般式で表現される降雨強度 - 継続時間しきい値である。

$$I = c + \alpha D^\beta$$

ここで、 $I$  は平均降雨強度、 $D$  は降雨継続時間、 $c \geq 0$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  はパラメータである。

多くの文献で提案された IDしきい値は、降雨持続時間および降雨強度のかなりの範囲に及ぶが、しきい値のほとんどは、1~100 時間の間の持続時間の範囲、1から 200mm/h の降雨強度の範囲をカバーする。IDしきい値の大部分(45 事例)で  $c=0$  であり、この場合の上式は、単純なべき乗則となる。

提案された全ての ID しきい値において指数スケーリング乗数は負の値 ( $-0.19 < \beta < 0.1.50$ ) をとり、 $\alpha$  は 4.00 から 16.40 の値をとる。負の指数法則関係は降雨継続時間の4桁範囲で保持される。これは、地滑りを引き起こす降雨条件の自己相似スケーリング挙動を示唆する。しかし、単純なスケーリング則のあてはめには概念的な限界がある。というのも、非常に長い期間(例えば、 $D > 500h$ )である場合、極めて小さい平均降雨強度でも地すべりを生じ得ることになるが、これは現実性にとぼしいため、スケーリング則の成立を正当化するのには困難だからである。これは、部分的に降雨強度の異なる降雨継続時間の異なる水文学と斜面の安定性の重要性の結果である。この制限を克服するために、何人かの著者(例えば、Cannon and Ellen(1985), Wieczorek (1987), Crosta and Frattini (2001))は、長い降雨期間のための漸近しきい値を提案した。

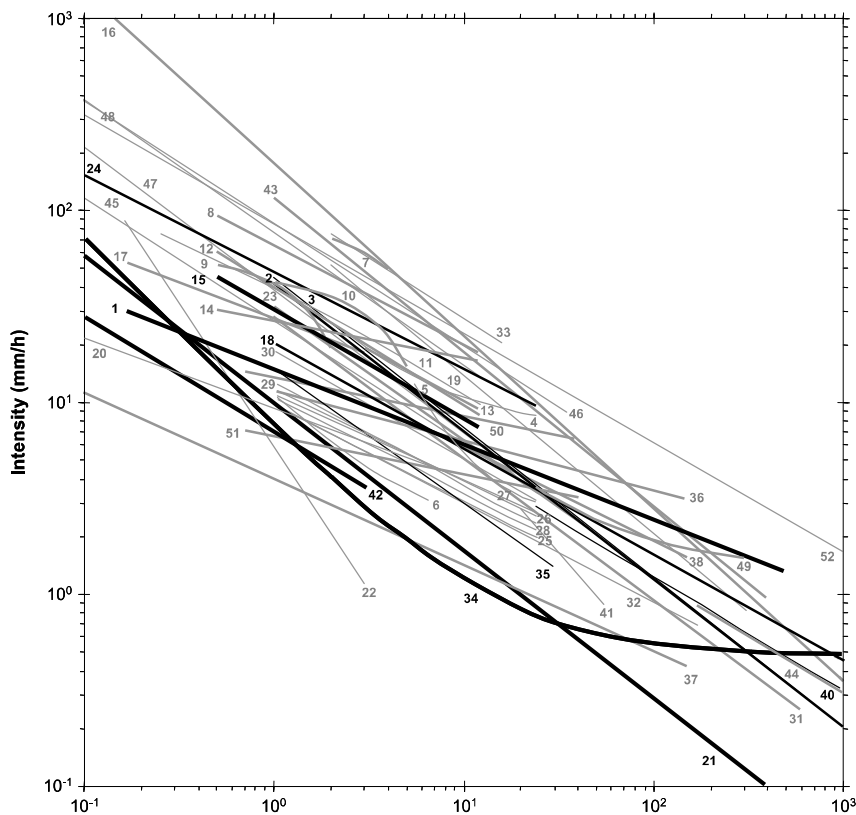


図5.7.1 降雨強度 - 継続時間 (ID) のしきい値

極太線はグローバルしきい値、太線は地域しきい値、細線は局所しきい値。黒い線は、グローバルしきい値とCentral European Adriatic Danubian South-Eastern Space (CADSES)エリアに関連する領域または地域のために決定しきい値、グレーラインはCADSESエリアに関係しない領域または地域のための雨量しきい値を示す。

図 5.7.1 を仔細に検討することにより、以下の一般化を導くことができる。Caine(1980)によって提案された しきい値(#1、世界中の73事例のイベントにもとづく) Jibson(1989)によって提案されたしきい値(#5、世界的な7つの地域のイベントにもとづいて決定された8つのIDしきい値の下限包絡線として設定)をのぞいて、グローバルによるしきい値は、IDしきい値の組み合わせの下方に位置している。降雨継続時間20分から5時間の範囲では、少数の例外(#22、フィリピンのラハールのローカルしきい値、および#37、ブリティッシュコロンビア州の表層崩壊のための地域しきい値)を除いて非常に小さいな降雨強雨で地すべりの発生を予測するしきい値はない。グローバルなIDしきい値の値が小さくなるのは、世界

的なデータにもとづいて推定することによるもので、定義上、グローバルしきい値は、それ以下のレベルでは地すべりが発生しない最低レベルを表現するものと解釈される。

#### (6) 考察と結論

この分野の文献調査によって明らかになる著しい事実の一つは、マスマーブメントの発生を特徴付ける唯一最良の降雨の観測特微量などというものは存在しないという事実である。マスマーブメントの発生の経験的なしきい値の定義は極めて多岐にわたっており、それらの間に見られる言語矛盾やパラメータ選択に関する意見の相違は、それらのしきい値を相互に比較することをきわめて困難にしている。

これまでの雨量しきい値の仕組みや技術の発達経緯を概観してみると、個々の研究者レベルではしきい値モデルの精緻化が着実に進められている反面、それらの一般化、普遍化、統合化に向けた学術的コミュニティ全体の取り組みは必ずしも十分とは言えない、という点を指摘することができる。しきい値モデルの数が現場の数、あるいは、さらに甚だしくイベントの数だけあるといった百花繚乱の状態は実用的な技術の発展にとって必ずしも望ましくないことは明らかであろう。また、日本と同様に海外においても、各分野や機関毎に対象とする土砂災害の性質や業務、管理体制等に応じてきめ細かい工夫がなされていることが窺われる反面、本質的には目的を等しくする技術でありながら、各機関の関係者が互いの仕事についてよく知らないために、ある分野ではるか昔に絶滅した古い技術やそれに起因する課題が他の分野では未だに生き残っているというガラパゴス化の問題も見えてくるようである。

#### 参考文献

- [1] Brand EW、 Premchitt J、 Phillipson HB (1984) Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: Proceedings 4th International Symposium on Landslides. Toronto: 1: 377-384
- [2] Caine N (1980) The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. Geogr Ann A 62: 23-27
- [3] Campbell RH (1975) Soil slips、 debris flows、 and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity、 southern California. In: US Geological Survey Professional Paper 851. Washington DC: U.S. Government Printing Office、 51 pp
- [4] Cancelli A Nova R (1985) Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina (central Alps - Italy). In: Proceedings 4th International Conference and Field Workshop on Landslides. Tokyo: The Japan Geological Society、 267-272
- [5] Cannon SH、 Ellen SD (1985) Rainfall conditions for abundant debris avalanches、 San Francisco Bay region、 California. Calif Geol 38: 267-272
- [6] Crozier MJ (1999) Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. Earth Surf Proc Land 24: 825-833
- [7] Glade、 T. (1998)、 Establishing the Frequency and Magnitude of Landslide-triggering Rainstorm ETents in New Zealand、 Environmental Geology 35 (2/3)、 160-174.
- [8] Govi M、 Sorzana PF (1980) Landslide susceptibility as function of critical rainfall amount in Pied- mont basin (North-Western Italy) Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica 14: 43-60
- [9] Jibson RW (1989) Debris flow in southern Porto Rico. Geological Society of America、 Special Paper 236、 29-55
- [10] Keefer DK、 Wilson RC、 Mark RK、 Brabb EE、 Brown WM-III、 Ellen SD、 Harp EL、 Wieczorek GF、 8 、 Alger CS、 Zatkan RS (1987) Real-time landslide warning during heavy rainfall. Science 238: 921-925
- [11] Lumb P (1975) Slope failure in Hong Kong. Q J Eng Geol 8:31-65
- [12] Marchi L、 Arattano M、 Deganutti AM (2002) Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). Geomorphology 46: 1-17
- [13] Montgomery DR、 Dietrich WE (1994) A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. Water Resour Res 30(4): 1153-1171
- [14] Wilson RC、 Wieczorek GF (1995) Rainfall thresholds for the initiation of debris flow at La Honda、 California. Environ Eng Geosci 1(1): 11-27

## 5.8 まとめ

国際交流部会では、海外の大規模避難研究事例の収集・分析、世界地震工学会議での津波リスクマネジメントの特別テーマセッションの提案など、情報発信と国際交流に努めてきた。今後の研究委員会では、特定の部会を設けるより、幅広く、津波避難やシミュレーション、防災対策の推進に向けて、海外研究者や留学生との交流を進めるのが望ましい。

## 6. 委員会に関連する研究発表

- 1) 後藤洋三, 中林一樹: 東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)の調査, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 2) 後藤洋三, 池田浩敬, 市古太郎, 小川雄二郎, 北浦勝, 佐藤誠一, 鈴木光, 田中努, 仲村成貴, 三上卓, 村上ひとみ, 柳原純男, 山本一敏: 東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果-調査概要編-, 日本地震工学会論文集 Vol. 15 (2015) No. 5 特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」 p. 5\_97-5\_117, 2015.
- 3) 後藤洋三, 池田浩敬, 市古太郎, 小川雄二郎, 北浦勝, 佐藤誠一, 鈴木光, 田中努, 仲村成貴, 三上卓, 村上ひとみ, 柳原純男, 山本一敏: 東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果-データ特性分析編-, 日本地震工学会論文集 Vol. 15 (2015) No. 5 特集号「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策」 p. 5\_118-5\_143, 2015.
- 4) Goto, Y., Mikami, T. and Nakabayashi, I.: Fact-Finding about the Evacuation from the Unexpectedly Large Tsunami of March 11, 2011 in East Japan, Proc. of 15-WCEE, USB-publication, 2012.9.
- 5) 後藤洋三: 山田町の地区・街区別にみた津波被災要因の分析, 2012年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2012年12月.
- 6) Goto Y.: Index to Evaluate Tsunami Evacuation Potential and its Validation at Yamada, Iwate Prefecture, Journal of Disaster Research, Vol.9, No.7, 2014.9, pp.730-742.
- 7) 後藤洋三: 地域の津波避難力を評価する指数の提案と岩手県山田町における検証, 日本地震工学シンポジウムProc., DVD出版, 2014年12月.
- 8) 後藤洋三, 中須正: 津波避難評価指標の提案と検証, 2015年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2015年10月.
- 9) 後藤洋三: 石巻市門脇町, 南浜町の避難行動の聞き取り調査(その1) - 住民の避難行動 -, 2013年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2013年11月.
- 10) 後藤洋三: 石巻市門脇町, 南浜町の避難行動の聞き取り調査結果(その2) - 大規模事業所, 学校, 病院, 福祉施設等からの避難 -, 2013年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2013年11月.
- 11) 後藤洋三: 石巻市門脇・南浜地区の事業所と住民の津波避難行動, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.71(2015), No.4 2015.
- 12) 後藤洋三, 印南潤二, Muzailin AFFAN and Nur FADLI: スマトラ北部西方沖地震で生じたバンダアチェ住民の大規模避難行動の調査と分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No.4, 2013.
- 13) 後藤洋三: 東日本大震災津波避難における帰宅行動と立ち寄り行動の影響, 2015年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2015年11月.
- 14) 田中努: 東日本大震災時の山田町・石巻市における津波避難に関するヒアリング調査, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 15) 市古太郎: 石巻市, 山田町, 野田村における発災当日の避難行動遷移パターン, 2012年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2012年12月.
- 16) 市古太郎: 住民オーラル調査に基づく東日本大震災津波避難における家族介助と共助行動への視線, 日本建築学会大会梗概集(都市計画), DVD出版, 2013年8月.
- 17) 市古太郎: 東日本大震災における「主体的な津波避難」に関する考察—山田町・石巻中心市街地での比較分析—, 日本地震工学シンポジウムProc., DVD出版, 2014年12月.
- 18) 三上卓, 後藤洋三, 佐藤誠一: 東日本大震災津波襲来時の石巻市における住民の行動調査, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 19) 三上卓, 後藤洋三, 佐藤誠一: 東日本大震災における石巻市で亡くなった方の津波襲来時の居場所および行動に関する調査, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 20) 三上卓: 石巻市で亡くなられた高齢者の津波襲来時の行動調査, 2012年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2012年12月.
- 21) 三上卓, 後藤洋三, 田中努, 村上ひとみ, 柳原純夫: 地震避難途中で亡くなった方の避難手段～石巻市の事例～, 土木学会第68回年次学術講演会概要集, DVD出版, 2013年9月.
- 22) 三上卓: 東日本大震災の津波犠牲者に含まれる要援護者と付添者に関する調査分析, 土木学会四国支部21世紀の南海地震と防災, 第8巻, 2013年12月.
- 23) 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, 2014, pp.980-915.
- 24) 三上卓: 東日本大震災ヒアリング調査に基づく高齢者が津波犠牲となった要因分析, 2014年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2014年9月.
- 25) 三上卓, 北浦勝: 東日本大震災津波時の石巻市小中学校における避難行動等に関するヒアリング調査, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 26) 三上卓: 東日本大震災津波時の石巻小中学校における学校対応に関するヒアリング調査, 2012年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2012年12月.
- 27) 佐藤誠一, 田中努: 石巻市における津波被害状況と浸水深の関係, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版,

2012年9月.

- 28) 佐藤誠一, 田中努: 石巻市の津波被害に対する浸水深と水域距離の影響, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 29) 鈴木光, 長谷川庄司, 後藤洋三: コミュニティ単位での防災訓練等の活動による避難状況の分析, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 30) 村上ひとみ, 柳原純夫, 三上卓: 東日本大震災における津波避難の交通手段と危険度の関係—名取市・石巻市におけるアンケート調査をもとに—, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 31) 村上ひとみ, 三上卓, 柳原純夫: 東日本大震災における津波避難の交通手段と危険度—石巻市のアンケート調査をもとに—, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 32) 村上ひとみ, 柳原純夫, 三上卓: 東日本大震災における津波避難の交通手段—自転車避難の事例と自転車専用レーンのニーズ—, 2013年土木学会全国大会梗概集, DVD出版, 2013年9月.
- 33) 村上ひとみ, 脇浜貴志: 石巻市の津波避難と年齢の影響—東日本大震災避難合同調査団アンケート調査をもとに—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), DVD出版, 2013年8月.
- 34) Murakami, H., Yanagihara, S., Goto, Y., Mikami, T., Sato, S. and Wakiham, T.: Study on casualty and tsunami evacuation behavior in Ishinomaki city- Questionnaire survey for the 2011 Great East Japan Earthquake —, Proc. 10th U.S. National Conf. on Earthq. Engr., USB publication, 2014.7.
- 35) 柳原純夫, 村上ひとみ: 石巻市本庁地区における避難行動の移動距離からの分析, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 36) 柳原純夫, 村上ひとみ: 東日本大震災における石巻市内での避難行動—移動距離からの分析—, 2012年土木学会地震工学研究発表会講演予稿集, DVD出版, 2012年10月.
- 37) 柳原純夫: 石巻市本庁地区における避難行動の移動手段・距離からの分析, 2012年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2012年12月.
- 38) 柳原純夫, 村上ひとみ, 仲村成貴: 移動距離, 手段からみた平野部, リアス部の避難特性, 2013年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2013年11月.
- 39) 柳原純夫, 村上ひとみ: 東日本大震災における石巻市内での避難行動—移動パターン・移動距離からの分析—, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No.4, 2013.
- 40) 山本一敏: 東日本大震災における津波からの避難行動のパターン分類, 2012年土木学会全国大会講演概要集, DVD出版, 2012年9月.
- 41) 山本一敏, 柳原純夫: 東日本大震災における避難行動パターンと移動距離の関係, 2013年日本地震工学会年次大会予稿集, DVD出版, 2013年11月.
- 42) 山本一敏, 柳原純夫: 東日本大震災における津波からの避難行動パターン, 日本地震工学シンポジウムProc., DVD出版, 2014年12月.
- 43) 奥村与志弘, 中道尚宏, 清野純史: 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—, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I\_1366-I\_1370, 2013.
- 44) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 湯浅亮, 清野純史: コミュニティにおける津波避難初期過程のシミュレーションモデルの開発, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I\_1356-I\_1360, doi:http://doi.org/10.2208/kaigan.70.I\_1356, 2014.
- 45) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 清野純史: 2011年東北地方太平洋沖地震津波における避難者発生シミュレーション—石巻市門脇地区を対象として—, 土木学会論文集A1(構造・地震工学) Vol.71, No.4(地震工学論文集第34巻), pp.I\_823-I\_831, doi:http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\_823, 2015.
- 46) 堀宗朗, 末松孝司, 荒木秀朗, 奥村与志弘, 土肥裕史: 避難シミュレーションにおける品質保証の現状と今後の展望, 日本地震工学論文集, vol.15, No.5特集号, pp.5\_144-5\_157, doi: http://doi.org/10.5610/jaee.15.5\_144, 2015.
- 47) 小山真紀, 湯浅亮, 奥村与志弘, 土肥裕史, 清野純史: 要援護者を考慮したDEMによる避難シミュレーションプログラムの開発と南あわじ市阿万塩屋町中西地区におけるケーススタディ, 日本地震工学論文集, vol.15, No.5特集号, pp.5\_41-5\_59, doi: http://doi.org/10.5610/jaee.15.5\_41, 2015.
- 48) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 清野純史: 地震の揺れに伴う屋外への退避行動と津波避難開始の関係性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, pp.I\_1609-I\_1614, doi: http://doi.org/10.2208/kaigan.71.I\_1609, 2015.
- 49) Yuji Dohi, Yoshihiro Okumura, Maki Koyama, and Junji Kiyono: Evacuee Generation Model of the 2011 Tohoku Tsunami in Ishinomaki, Journal of Earthquake and Tsunami(印刷中)
- 50) 村上ひとみ, 脇浜貴志, 小山真紀, 奥村与志弘: 津波避難における移動手段と自転車活用に関する研究—南海トラフ地震に備える愛知県田原市の訓練事例—, 地域安全学会論文集 No.27, 2015. (印刷中)
- 51) Yoshihiro Okumura, Naohiro Nakamichi and Junji Kiyono: Evacuation Behavior Characteristics during the 2011 Tohoku Tsunami, EIT-JSCE Joint International Symposium on International Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries, pp.55-60, 2013.
- 52) Yuji DOHI, Yoshihiro OKUMURA, Maki KOYAMA and Junji KIYONO: Evacuee Generation Model of the 2011 Tohoku Tsunami in Kadowaki, The 14th Japan Earthquake Engineering Symposium, OS13-Fri-AM-1, 2014年12月6日. 幕張メッセ(千葉県・千葉市)
- 53) Yuji DOHI, Yoshihiro OKUMURA, Maki KOYAMA and Junji KIYONO: Relation between Starting Tsunami Evacuation and Behaviors due to Strong Shaking of an Earthquake, EIT-JSCE Joint International Symposium on International Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries, Young Engineer & Graduate student Session 1, 6p, Sep, 2015, Bangkok.



- 54) Yoshihiro Okumura, Naohiro Nakamichi and Junji Kiyono : Numerical Analysis of Evacuation Behavior in Tsunami Exceeded Expectations, 10th Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), IG05-04-24-D3-PM2-M2-005 (IG05-04-24-A013), Brisbane, 2013.
- 55) 村上ひとみ, 奥村与志弘 : 2014年チリ・イキケ地震の津波避難に関する研究(その1)行政・コミュニティ・商業地区のヒアリング調査, 日本建築学会中国支部研究報告集, 38巻, pp.1021-1024, 2015年.
- 56) 村上ひとみ, 奥村与志弘 : 2014年チリ北部地震におけるイキケ市の津波避難, 日本地震工学会誌, 24号, pp.27-29, 2015年.
- 57) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 清野純史 : 津波避難初期過程におけるコミュニティのシミュレーションモデルの構築, 平成26年度土木学会全国大会第69回年次学術講演会, I -350, pp.699-700, 2014年9月11日. 大阪大学豊中キャンパス (大阪府・豊中市)
- 58) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 清野純史 : 2011年東北地方太平洋沖地震津波における避難者発生シミュレーション～石巻市門脇地区を対象として～, 第34回土木学会地震工学研究発表講演会論文集, 687, 2014年10月10日. まちなかキャンパス長岡 (新潟県長岡市)
- 59) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 清野純史 : 2011年東北地方太平洋沖地震津波の石巻市門脇地区における避難シミュレーション, 日本災害情報学会第16回研究発表大会, P-I19, 2014年10月25日. アオーレ長岡 (新潟県長岡市). (Poster)
- 60) 小山真紀, 湯浅亮, 奥村与志弘, 土肥裕史, 清野純史, 要援護者を考慮したDEMによる避難シミュレーションプログラムの開発, 第14回日本地震工学シンポジウム, OS11-Sat-PM1-4, 2014年12月6日. 幕張メッセ (千葉県・千葉市).
- 61) 久田嘉章, 大原美保 : 巨大都市における震災・水害等の複合災害に関する課題, 第14回日本地震工学シンポジウム予稿集, 2014年12月.
- 62) 久田嘉章 : 巨大都市で想定される震災の現状と課題, 日本地震工学会・年次大会・横断セッション(E) 会長特別プロジェクト「巨大都市で想定される様々な災害 (オールハザード) の現状と対策を考える」, 2015年11月.
- 63) 久田嘉章 : 震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題日本地震工学会論文集特集号「巨大都市における地震・水害等による複合災害対策の現状と課題」, 2016年4月.

各参考文献の内容の要約

参考文献番号) 第1著者名	主な内容	主な結論
1) 後藤洋三	合同調査団山田町石巻市担当チームの調査活動の概要紹介と一次的な分析結果の報告.	高齢者の被災率が高い, その付き添いで若い世代の親族が亡くなったケースも見られる, 過去の津波災害の経験がネガティブな影響を与えている, 住民の多くは揺れを感じて逃げている, 石巻市の平野部住民の津波に対する警戒心は明らかに低かった, 等.
2) 後藤洋三	東日本大震災津波避難合同調査団の発足, 調査体制, 調査方法の詳細, ならびに山田町と石巻市の避難にかかわる自然, 社会環境の調査結果の報告.	被災住民への負担を軽減し効果的に調査を進めるために任意参加の調査団が結成された. 山田町石巻市担当チームはその中核としてヒアリングとポスティングを行い, 約1,350名の避難データを収集した.
3) 後藤洋三	上記の合同調査団山田町石巻担当チームの調査データの特性を国交省と内閣府の調査データと比較しながら分析.	定性的な結論に差違は及ばさないが, 同じ地域の調査データでも調査対象者の特性の偏りと調査方法によって定量的な結果に違いが出ることを考慮する必要がある.
4) Goto Y.	1)に, 石巻市の生存者から死者・行方不明者の状況を聞き取った情報を追加.	1)の結論に死者・行方不明者の約60%は津波来襲時に在宅していた, 21%が避難中だった, 等を追加.
5) 後藤洋三	山田町の集落ごとと街区ごとに, 浸水域死亡率と津波遡上高さ, 地形, 防潮堤, 地域防災活動の関連性を分析.	津波遡上高さが高くなると浸水域死亡率が高まるが, 危機意識の高い集落, しっかりした防災訓練が行われていた地域の浸水域死亡率は低い.
6) Goto Y. 7) 後藤洋三	集落ごとに避難のしやすさと住民の避難力を判断する指標として「津波犠牲者数」/「全壊家屋数」を提案, 合同調査団の山田町における調査結果で適合性を検証.	堤防の高さと倒壊の有無, 集落の形成過程, 地域防災活動のレベル, 概算避難距離, 避難路の整備状況, 消防団による避難支援の有無などが指標と良く関連づけられることを示した.
8) 後藤洋三	集落毎に津波避難の脆弱性を判断する指標として中須が提案したHVI (Human Vulnerability Index)を適用, 岩手, 宮城の沿岸20自治体のデータで適用性を検証.	バラツキがあるもののHVIと各自自治体の地域特性, 社会特性との間に関連性があることが確認され, 大津波警報の発表内容, 避難距離, 自動車避難などの影響を数値的に評価することが出来た.
9) 後藤洋三 10) 後藤洋三 11) 後藤洋三	主として聞き取り結果によって石巻市門脇町・南浜町の住民と代表的な事業所の避難行動を比較分析.	事業所は責任者が的確に判断し迅速な避難を行ったのに対し, 一部住民は警戒心が希薄で, 自宅に留まったり自宅に戻ったりして被災した. 住民の避難力を高める教育訓練が必要であるが, 事業所並みの対応を徹底するのは困難, 高台移転などの根源的施策が必要である.
12) 後藤洋三	合同調査団の調査データを2012年4月11日に起きたスマトラ島北部西方沖地震で生じたインドネシア・バンダアチェの避難騒動の調査結果と比較.	バンダアチェと石巻&山田の共通性として, 住民の多くが揺れを感じて避難を決断していること, 子供を学校に迎えに行く行動を取ることで, 直近の津波の経験を都合良く解釈すること, 等が認められた.
13) 後藤洋三	復興支援調査アーカイブのデータから, 岩手・宮城沿岸のリアス部と平野部の住民の避難における外出先からの一旦帰宅と避難中の立ち寄り避難終了時間に及ぼす影響を徒歩避難と車避難に分けて分析.	帰宅後避難, 立ち寄り後避難の場合, 安全域到達に平均で32分~53分を要し大変危険な状況となる, 自動車避難は平野部の帰宅後避難の場合を除き徒歩避難より早く安全域に到達していた, 帰宅や立ち寄りの主な目的は家族の擁護だった, ことなどが明らかになった.
14) 田中努	合同調査団山田町石巻市担当チームの調査活動の概要紹介.	自動車避難の可否, 津波でんでんこの可否について土木学会の研究討論会でディベートセッションを開催.
15) 市古太郎	住民の避難行動を, 発災時, 揺れ直後, その次, 津波来襲時, 宿泊に視点を設定して行動の遷移状況を分析.	「いえ」の持つ引力が大きい. 被災者は「いえ」にこだわって行動している.
16) 市古太郎 17) 市古太郎	内閣府津波避難WGの避難判断モデルを参考に, 合同調査団の石巻市本庁地区と山田町の避難行動調査結果を分析, 考察.	山田町は石巻市本庁地区に比べ早期自己判断および情報に基づく判断というパターン割合が高く, 事前のハザードマップ認知, 家族の話し合い, 津波避難訓練の参加機会などの多さと整合する.
18) 三上卓 19) 三上卓 20) 三上卓 21) 三上卓 22) 三上卓 23) 三上卓 24) 三上卓	合同調査団のポスティング調査で亡くなられた方の状況について回答者に知っている情報を記述してもらった結果と, 独自の聞き取り調査から, 石巻市で1,012名, 山田町で74名の津波犠牲者の行動について情報を収集し分析.	犠牲者の1/2~2/3は津波来襲時に自宅にいたか自宅に戻って避難しなかった人達, 津波警戒心の不足がその過半を占めるが, 家族の帰りを待った人が5%, 体が不自由かその付き添いで避難を断念した人が15%いた. 避難途中で犠牲になった人は22%で, その内の自動車使用者は50~60%, 徒歩避難中の犠牲者の多くは高齢の女性, 車の運転が出来なかったことと関連がある.

参考文献番号) 第1著者名	主な内容	主な結論
25) 三上卓 26) 三上卓	山田町と石巻市小中学校の日常と災害時の対応をヒアリング調査結果から分析.	登下校時も想定した実践的な訓練, 瞬時の判断力を高める教職員の教育, 避難所運営について自治体と住民間の日頃からの協力関係の構築, 等が必要である.
27) 佐藤誠一 28) 佐藤誠一	国交省の調査データから, 石巻市内の罹災家屋位置, 死亡者居住地, 津波浸水深, 水域最短距離の関係を整理・分析.	浸水深と家屋の罹災状況には強い相関がある, 死亡率と全壊率の関係はばらつきがあるものの死亡率が高い場合には全壊率が高い傾向がある.
29) 鈴木光	山田町の小集落単位の日頃からの防災活動と3.11時の避難状況の関連性を分析.	小集落単位で日頃から防災活動が盛んな地域は被災率が低い. 小規模でも数多くの地域防災活動が効果的.
30) 村上ひとみ 31) 村上ひとみ 32) 村上ひとみ	名取市・石巻市のアンケートを基に津波避難の交通手段と危険度の関係を分析.	避難しない人の危険率が甚だしく高い. 車避難と徒歩(自転車を含む)避難の危険性は状況によって変化する. 徒歩や自転車で到達できる場合は車を避けるべきである.
33) 村上ひとみ	石巻市の津波避難における年齢の影響を分析.	高齢者の津波避難に大きな課題がある.
34) Murakami, H.	石巻市における合同調査団の調査結果から, 年齢, 避難距離と避難手段の関係, 地域間の移動パターンと避難手段ならびに車の移動距離の関係, 帰宅後避難の場合の時間ロスを分析, 自転車避難の可能性を検討.	半数以上の人車が避難し, その40%が渋滞に遭遇し, 6%が津波にのまれている. 自転車避難は少数だがより確かな避難手段となる可能性がある. 徒歩避難者の90%の避難距離は1km以下である. 車避難の人の1/4は帰宅後避難者で, その場合は避難猶予時間が17分しか無かった.
35) 柳原純夫 36) 柳原純夫 37) 柳原純夫 38) 柳原純夫 39) 柳原純夫	石巻市における合同調査団のポスティング調査結果から避難者の移動距離を抽出, 市域に地形や居住・道路環境によるブロックを設定, ブロック間の避難経路, 移動パターンを検討.	自動車避難が半数を占める. 徒歩避難, 自動車避難とも近隣の避難場所に移動したケースが多い. 車避難者の1/4は一度自宅に戻っており, 避難猶予時間は平均17分であった.
40) 山本一敏	合同調査団の調査結果から山田町と石巻市の住民の地震直後の意識と避難行動をパターン分類して分析.	山田町, 石巻市とも津波が来るかもしれないと考えるが直ちに避難しない人が多い. 近年被害を受けていなかった石巻市では強い揺れを受け大津波警報を聞いても津波の危険性を認識しない人が多かった.
41) 山本一敏 42) 山本一敏	直ちに避難, 津波は来るかもしれないと考えるが直ちには避難しない, 津波は来ないと考えるか津波は考えない, に分け移動手段と移動距離を分析.	「直ちに避難」は徒歩避難が多く, 「津波は来るかもしれないと考えるが直ちには避難しない」は車を使って長距離避難する傾向にある.
43) 奥村与志弘 51) Okumura Y 54) Okumura Y	2011年東北津波において, 想定になかった津波来襲という事態に直面しながら関係者の約6割が助かった南三陸町志津川地区にある高齢者施設の関係者の避難行動を分析.	津波来襲前の待機態勢を変え, 避難に使える時間を実際よりも1分多くすることで2.7倍の職員が避難に成功する解析結果を得た. わずかな時間の確保と待機態勢の違いが避難の成否を大きく左右する. 福祉対策として実施されていた施設前の公園整備や引戸, 高校へつながる階段などが, 結果として津波避難に有効であった. 浸水予測エリア外での防災対策は優先順位が低くなるが, 観光や福祉などの施策に津波避難効果を付与することで, 津波の規模に対して柔軟性の高い地域づくりが可能になる.
44) 土肥裕史 57) 土肥裕史	住民等の非専門家コミュニティ全体の避難開始に重要な役割を担うことを考慮し, 「コミュニティにおける避難初期過程のシミュレーションモデル」を開発した. 開発した手法を南三陸町志津川地区にある高齢者施設の関係者の避難行動に適用することで, 避難開始に関わる関係者の危機感の高まりを時空間で分析した.	避難開始の個人差, つまり, どこまで危機感が高まると避難を開始するのかという個人差は, 「危機感の上限值」を個人毎のパラメータ化とすることで表現. 情報発信源の影響度の差は, 「重み」を情報発信源毎のパラメータとすることで表現. 事例検討では, 関係者の危機感の高まり方が3段階で変化していたことを明らかにし, その変化と関係者たちの振る舞いの関係性を明らかにした.
45) 土肥裕史 49) Dohi Y 52) Dohi Y 58) 土肥裕史 59) 土肥裕史	上記で開発した避難初期過程のシミュレーションモデルを, 多くの建物を含む広い地域における津波避難に適用できるように発展させ, これを「避難者発生モデル」とした. 開発した手法を石巻市門脇地区・脇浜地区の住民の避難行動に適用し, 避難の開始行動を分析した.	屋内にいる人々が屋外で高まる危機感の高まりをどのように把握するのかによって「受動的アクセス」と「能動的アクセス」に分類し, 人々の行動をモデル化した. 多くの住民が通過する避難経路がある高台付近は避難開始を促す情報発信源が多くなるのに対し, 海岸付近では相対的に情報発信源が少なくなり, 避難を開始しづらい条件であると言える. 海外付近では避難開始のタイミングを逃すと危機感を高めづらくなり, 避難が難しくなる.

参考文献番号) 第1著者名	主な内容	主な結論
48) 土肥裕史 53) Dohi Y	2014年チリ北部沖地震におけるチリ国イキケ市にあるショッピングセンター「ZOFRIモール」の避難状況に関する聞き取り調査、監視カメラの映像分析、津波避難計算を実施することで、地震の揺れに伴う屋外への退避行動と津波避難開始の関係性を検討した。	揺れの直後は、津波ではなく揺れに警戒し、屋外に退避しなければならないという雰囲気であったことが分かった。しかし、揺れに伴い屋外に退避することで、当初津波避難を意識していなかった人々も津波避難に導かれた可能性がある。 屋外退避と思われる行動をとった人々の割合は9割で、そのうち77%が続けて高台へ向かっていた。
46) 堀宗朗	避難シミュレーションの品質保証のため、その基本的な考え方を示し、それに基づいた具体的な品質保証の方法を提案した。	数値シミュレーションでは標準である、検証と妥当性確認 (V&V) という2段階の手順をとる避難シミュレーションの品質保証の方法を提案した。 実際に4種類の避難シミュレーションに対して、提案手法を適用し、齟齬・支障なく使えることを確認した。
47) 小山真紀 60) 小山真紀	要援護者を考慮した津波避難シミュレーションのモデルを開発し、実際の地域への適用を行った。	DEMを用いることで要素間に作用する力を評価することが可能かつ、要援護活動・自動車避難といった現実には発生しなかった行動の再現が可能で新規モデルを構築した。 構築したモデルの妥当性の検討を行うと共に、モデル地域におけるケーススタディを行う事で、現時点における当該地域の避難計画の問題点を明らかにした。
50) 村上ひとみ	愛知県田原市において実施された自転車を活用した津波避難訓練を調査し、津波避難における自転車利用の可能性を検討した。	本訓練では、避難場所が遠い地区で自転車を選択する傾向が高かった。自転車避難は歩行者避難よりも移動速度が1.6倍速く146m/分であることが分かった。 一方で、今回の訓練で自転車を利用した住民のほとんどが日常では自転車を利用しておらず、日常と異常(災害時)の連結が課題として挙げられた。
55) 村上ひとみ 56) 村上ひとみ	2014年4月1日イキケ沖で発生したM8.2の地震を受け、住民等の避難行動の実態を把握するため、イキケ市役所、危機管理庁(ONEMI)タラパカ事務所、コミュニティ3か所、免税特区運営会社ZOFRIに対する聞き取り調査を実施した。	(1)「立ってられないような揺れ」で避難開始のスイッチが入る住民が多い。(2)家族や近隣の説得があっても避難をしない住民も数%以上いる。(3)逃げない理由は、自宅を泥棒から守るため、逃げられないため。 揺れが小さくてもサイレンが鳴れば避難行動をとる住民が多い。(4)Safety zoneから離れている場合には自動車で逃げる傾向が強まる。(5)自動車避難断念の理由は、渋滞と徒歩避難する人々による道路閉塞。(6)イキケ最大の商業地区ZOFRIは最大の被害拡大要因の一つ。
61) 久田嘉章 62) 久田嘉章 63) 久田嘉章	巨大都市における震災・水害等の複合災害に関する現状と課題を整理	今後下記の取り組みが重要になる。 ・マルチハザード・複合災害を考慮したリスク評価、 ・事前の耐震性能および事後の災害対応力の向上によるレジリエントな対策の推進 ・中小災害から最大級災害にも対応可能な柔軟なオールハザード対応策の推進