

地震発生時の居場所と住民の津波避難開始行動 の関係 ～東日本大震災時における南三陸町 志津川地区の住民の事例から～

土肥 裕史¹・奥村 与志弘²・清野 純史³

¹学生会員 京都大学大学院学生 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: dohi.yuji.25x@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院助教 地球環境学堂 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: okumura.yoshihiro.8x@kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院教授 地球環境学堂 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: kiyono.junji.5x@kyoto-u.ac.jp

東日本大震災では、犠牲者の半数以上が自宅から避難しなかった可能性があり、避難開始の難しさが浮き彫りとなった。著者らはこれまで、地域全体で醸成される「危機迫る雰囲気」が避難開始に重要な役割を果たしているとの視点に基づく避難者発生シミュレーションを開発し、地域の津波避難の特徴を分析してきた。本研究では、復興支援調査アーカイブを用いて、同災害における南三陸町志津川地区を対象に、地震発生時の居場所と住民の津波避難開始行動の関係を明らかにした。その結果、地震発生時の居場所によって、地震発生後最初の行動が大きく異なることがわかった。自宅・近所にいた住民の9割、屋外にいた6割が他の場所へ移動することなく避難を行う一方で、職場にいた住民の5割、店舗にいた7割は避難以外の行動をとり、その大部分は自宅に戻った後避難を開始していた。

Key Words: *Tsunami evacuation, evacuation start, individual location when an earthquake occurs, evacuee generation model, the 2011 Tohoku tsunami, Minamisanriku town*

1. はじめに

東日本大震災では、多くの住民が津波に巻き込まれた。被害の大きい東北地方太平洋沿岸地域は我が国の津波防災先進地域であったこと、津波避難のために30分以上の時間があつたこと、津波警報や避難勧告などの公的機関からの情報も提供されていたことを勘案すると、津波避難の難しさが浮き彫りとなる。さらに、犠牲者の半数以上が避難をせずに自宅にいた可能性があるとの調査報告¹⁾を踏まえると、津波による人的被害軽減にむけて、避難開始に関する課題の解決が極めて重要である。

我が国の津波避難開始は、1952年の津波予警報システムの運用開始以降、気象庁による津波警報等の発表、自治体による避難勧告等の発令等によって住民に危険を知らせ、避難を促すという枠組みの中で多く議論されてきた。東日本大震災においても、公的機関からの情報によって住民は早期避難を促された。

一方で、住民を含めた社会を構成する様々な人々や自然現象が地域全体の避難開始において重要な役割を果た

したと考えられる事例も報告されている。茨城県大洗町では、沖出しをする船舶の汽笛が住民の早期避難を促した²⁾。また、本稿で注目する宮城県南三陸町では、商店の看板が津波で傾き、流される様子を目撃したことで指定避難場所からさらに高台へと向かわせたと向かわせた事例³⁾や、津波による「ごおっという音」とともに「土ぼこりのような、瓦礫の高い壁のようなもの」を目撃することで丘へ逃げた事例⁴⁾も報告されている。避難開始における上記の現象は、リアリティの共同構築⁵⁾と呼ばれる概念を用いると、「避難を開始しなければならない事態が迫っているというリアリティ（現実）」を構築するために重要な役割を担っていたと解釈できる。

この概念に基づき、著者らは避難者発生シミュレーション手法を開発し、津波にのまれた高齢者施設における避難行動³⁾や宮城県石巻市門脇地区・南浜地区における避難行動⁶⁾、同県南三陸町志津川地区における避難開始に関する地域差⁷⁾を分析してきた。著者らの一連の研究から、「同質の避難者を想定すれば、避難時に住民が通過する経路付近は情報発信源が多くなり、避難開始に

において好条件下にある」ことがわかってきた。

しかし、地域で醸成される「逃げなければ」という雰囲気や敏感に反応し危機感を高めやすい住民もいれば、高めづらい住民も存在する。つまり、避難を開始しやすい、開始しづらい住民がどのように分布しているかを理解することは、避難開始を分析するうえで欠かせないと言える。

本研究では、避難開始のしやすさに関する空間特性の実態を明らかにし、津波避難シミュレーションにおける表現法を検討する。具体的には、東日本大震災時の生存者の行動に注目した復興支援調査アーカイブ⁸⁾を用いて、各住民の居場所に注目し、避難の実態を明らかにする。その結果を踏まえ、津波避難シミュレーションにおける避難を開始しやすい、開始しづらい住民の分布に関する考察を行う。

2. 南三陸町志津川地区における避難開始の実態

本章では、復興支援調査アーカイブ⁸⁾を用いて、東日本大震災における宮城県南三陸町志津川地区の地震発生時の居場所と住民の津波避難開始行動の関係に焦点を当て、避難開始の実態を明らかにする。

(1) 対象地域の概要

当該地域(図-1 参照)は、東日本大震災で震度6弱を観測し、15mを超える高さの津波に襲われた。南三陸町全体の人的被害は、死者(直接死)620名、行方不明者212名であった(2016年4月現在)。著者らはこれまでに、志津川地区の推定犠牲者率は3.49%~5.29%であり、同町全体の犠牲者率(3.07%)を考慮すると、対象地域は町内でも特に犠牲者率が高かったことを報告している⁷⁾。また、津波数値計算結果から、地震発生45分後に津波が対象地域の海岸堤防を越え始めたと予想される。

(2) 分析における設定

本研究では、復興支援調査アーカイブ⁸⁾における、地震発生時に当該地域内にいた人および地域内で避難を完了した人を対象とする。サンプル数は236名であり、同地域に居住する全住民(5,351名)の4.4%にあたる。また、対象地域の津波浸水開始時間を考慮して、地震発生60分以降に初めて避難を開始した住民は、避難しなかったものとして扱う。

(3) 地震発生時および避難開始時の居場所

住民の居場所について、地震発生時を図-2(a)に、避難開始時を図-2(b)に示す。両図より、当時、自宅・近所にいた住民が全体の半数以上を占めていたことがわかる。

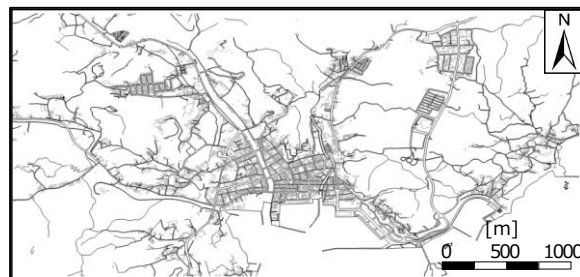
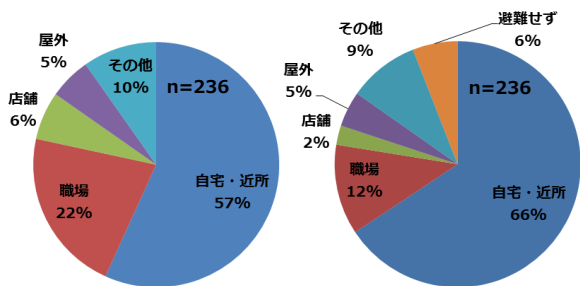


図-1 宮城県南三陸町志津川地区



(a) 地震発生時

(b) 各住民の避難開始時

図-2 住民の居場所 (n=236)

また、地震発生時と避難開始時を比較すると、自宅・近所にいた住民が9%増加する一方で、職場や店舗にいた住民の割合は半減しており、それぞれ10%、4%減少している。屋外の住民の割合は変化していない。以上を踏まえ、地震発生時に職場や店舗にいた住民の多くが自宅に戻った後避難を開始していたことが推測できる。なお、地震発生時に自宅・近所、職場、店舗、屋外のいずれかにいた住民は全体の9割を占めている。以降の節では、避難開始の特徴を上記の4か所ごとに評価する。

一方で、両図のその他に含まれる、幼稚園・保育園・小学校・中学校にいる住民の割合に大きな変化は見られなかった。同災害では、保護者が低地にある学校に子どもを迎えに行き、津波にのまれる事例が報告されている。しかしながら、志津川地区では比較的標高の高い場所にあるため、子どもを迎えに行くことで、親子ともに津波の届かない場所に到達できたと推測できる。これは、同地域の津波避難の特徴の一つであり、津波から生き残る点において有利に働いたといえる。

ここで、本分析結果と他の既往調査報告を比較する。地震発生時の居場所に関する、宮城県全体および南三陸町を対象とした調査結果⁹⁾と図-2(a)を比較すると、概ね良い一致を示した。地震発生時の住民の居場所について、対象地域に特異な傾向は見られなかった。

(4) 地震発生後最初の移動

地震発生時の居場所ごとに分類した、地震発生後最初の移動の状況を図-3に示す。各グラフより、地震発生時の居場所ごとに傾向が異なることがわかる。対象地域

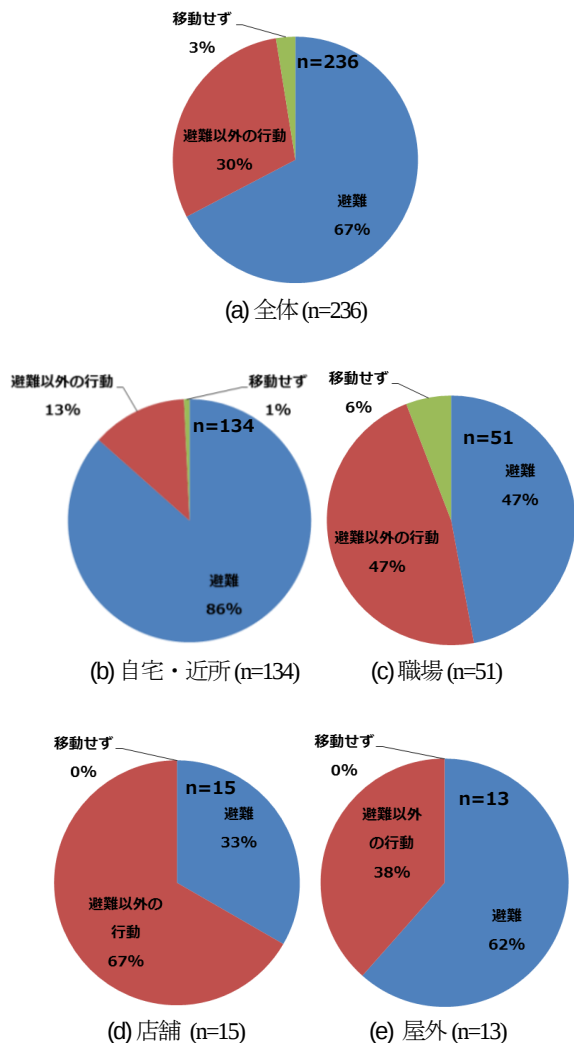
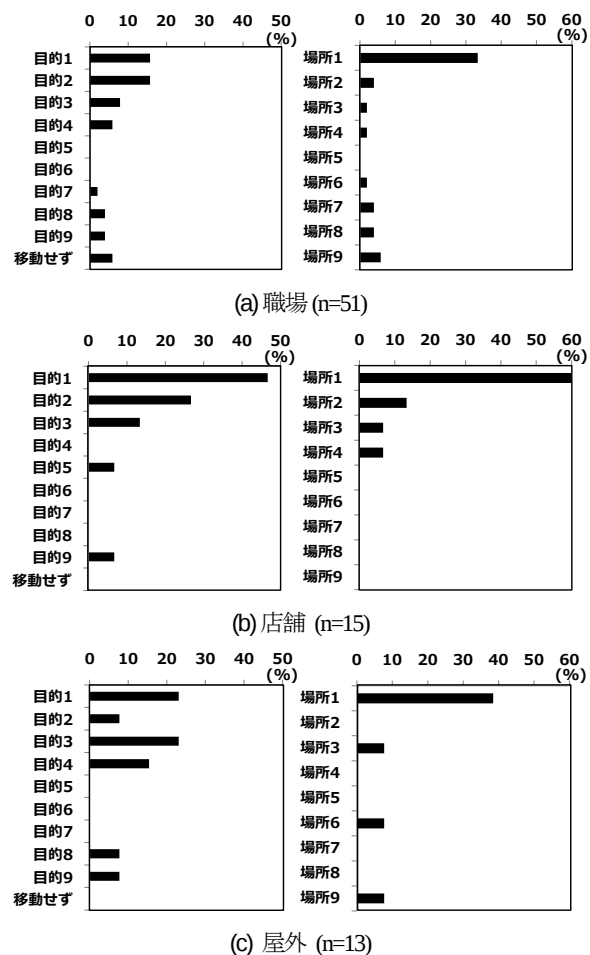


図-3 地震発生後最初の移動（各住民の地震発生時の居場所ごとに分類）

全体（図-3(a)）では、避難を行った住民が過半数（67%）を占め、避難以外の行動が30%であった。自宅・近所（図-3(b)）にいた住民の大部分（86%）は避難を開始している。屋外にいた住民（図-3(e)）も、自宅・近所ほど顕著ではないが、過半数の住民（62%）が避難を開始し、残りは避難以外の行動をとっている。一方で、職場にいた住民（図-3(c)）に注目すると、避難を開始した割合、それ以外の行動をとった割合がともに半数ほどであった。さらに、津波来襲まで移動しなかった割合は他と比較して大きいこともわかる。店舗にいた住民（図-3(d)）は、避難以外の行動を行った住民が過半数を占めており（67%）、他の地域と比較してかなり特異な傾向が見られた。

以上から、自宅・近所にいた住民の多くは、直接避難場所に移動していたことがわかる。対照的に、店舗にいた住民の多くは、避難を開始する前に別の場所に移動していたことがわかる。

中央防災会議の調査報告¹⁰⁾によると、地震発生後の避難行動として、対象とする宮城・岩手・福島の3県それ



目的の種類	場所の種類
1 家族・親戚・知人の安否確認(様子見)	1 自宅・近所
2 家族・親戚・知人を探したり、迎えに行ったりした	2 親戚・知人宅
3 被害の状況確認	3 職場
4 避難の用意のため	4 学校
5 地震の後片付けのため	5 店舗
6 避難を呼び掛けたり手助けするため	6 屋外
7 救助活動のため	7 津波の危険がない屋外の高台
8 その他業務のため	8 その他の指定された避難場所
9 その他	9 その他

図-4 避難開始までの移動目的と移動場所（各住民の地震発生時の居場所ごとに分類、複数回答可）

ぞれにおいて、半数以上の住民が揺れが収まった直後に避難を開始している。本分析において、地域全体の傾向は既往調査報告と類似しているが、地震発生時に店舗にいた住民の行動は特徴的なものであることがわかる。

著者らは、これまでの研究において、屋内における揺れに伴う屋外退避行動は、津波避難行動とは異なるものの密接な関係があることを明らかにしてきた¹¹⁾。当研究では、チリの商業施設を対象として、揺れに伴う屋外退避行動により津波避難を促す屋外の状況にアクセスできるため、結果的に多くの買い物客が迅速な津波避難を行うことが明らかとなった。一方で、本事例では、揺れの直後に店舗からの移動を行う住民が多いものの、即座に津波避難を行う住民は少なかった。このため、チリの事例と比較すると、揺れが収まった直後に店舗周辺では、津波避難にむけた危機感が十分に醸成されていなかった

ことが推測される。

(5) 避難開始までの移動

本節では、前節において避難以外の行動を行った住民が多い場所（職場、店舗、屋外）に注目し、彼らが避難開始までにどのような目的で、どこに移動したのかを分析する。

避難開始までの移動目的と移動場所を図-4 に示す。移動目的に注目すると、家族・親戚・知人を気遣う行動が多いことがわかる。移動場所に注目すると、自宅・近所に移動する住民が突出して多いことがわかる。本章第3節で述べた、地震発生時に職場や店舗にいた住民の多くが自宅に戻り避難を開始するという推測を裏付けるものである。

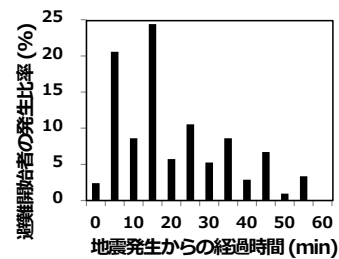
避難開始までの行動に関して、宮城県全体および南三陸町を対象とした調査結果⁹⁾、宮城県を含む1道6県を対象とした調査結果のともに、家族・知人を気遣う行動をとる住民が多いことを示しており、本分析結果と類似している。また、サーベイリサーチ⁹⁾が行った、地震発生時の家族の居場所について、宮城県全体および南三陸町ともに半数以上の回答者が自宅と回答している。これは、職場・店舗から自宅に移動した住民が多く存在し、家族を気遣う行動が多かったことと調和的である。

(6) 避難開始のタイミング

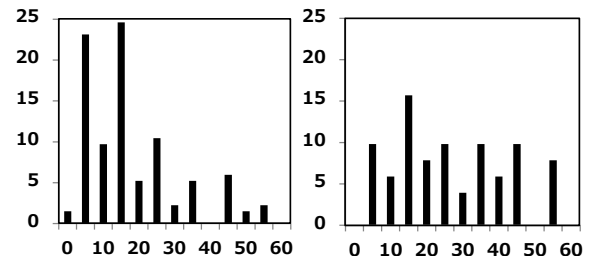
地震発生時の居場所ごとに分類した、避難開始のタイミングを図-5 に示す。各グラフともに、地震発生 5、15 分後付近で避難を開始する人が多くなっている。5 分後付近で比率が高いこと（全体で 19%）は、強い揺れが 2 分 40 秒ほど続いたこと（震度 4 以上の観測時間、石巻市）¹³⁾や、同町にて揺れが収まった時点で避難を開始する人は全体の 13%であったとする報告⁹⁾と調和的である。一方で、15 分後付近で比率が高いこと（全体で 21%）について、前節までの分析を踏まえると、職場や店舗から自宅に戻った住民が自宅にいた家族等と合流し避難を開始するケースが、地震発生から 15 分後付近に集中したことが推測される。

これらを踏まえ、著者らは避難開始のタイミングについて、以下のフェーズが存在すると考えている。

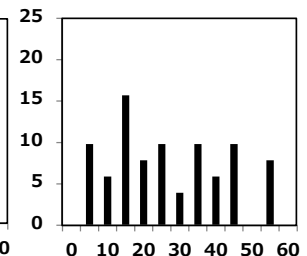
- ① 主に揺れにより即座に避難を行う住民が多く生成されるフェーズ（本事例では地震発生 0-5 分後）
- ② 主に揺れにより自宅等にいる家族・知人を迎えに行った後避難を行う住民、または、迎えによって避難を行う住民が多く生成されるフェーズ（本事例では地震発生 5 分後以降、特に 15 分後周辺に多い）
- ②' 主に行政等の呼びかけにより避難を行う住民が多く生成されるフェーズ（本事例では地震発生 5 分後以降、生成時間帯がフェーズ②と重複する）



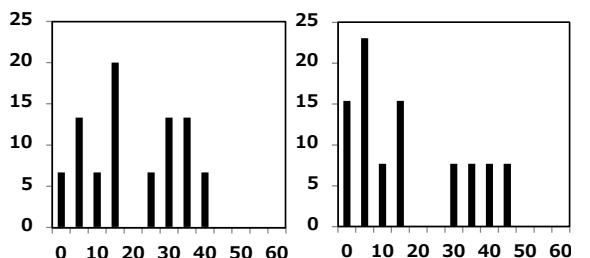
(a) 全体 (n=236)



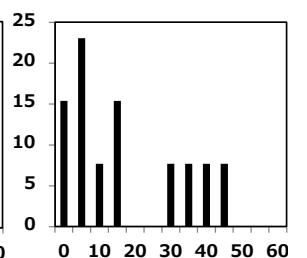
(b) 自宅・近所 (n=134)



(c) 職場 (n=51)



(d) 店舗 (n=15)



(e) 屋外 (n=13)

図-5 避難開始のタイミング（各住民の地震発生時の居場所ごとに分類）

- ③ ②・②'の集団に影響を受けて避難を行う住民が多く生成されるフェーズ（本事例では地震発生 5 分後以降）
- ④ 津波襲来による切迫避難を行う住民が多く生成されるフェーズ（津波襲来時付近）

ここで、本分析結果と他の既往調査報告を比較する。宮城県全体を対象としたサーベイリサーチの調査結果⁹⁾では、本分析結果と類似した結果を示している。また同県を対象とした中央防災会議の調査報告¹⁴⁾によると地震発生 5 分後から 30 分後までの避難者発生比率が似通っており、前述のフェーズ②・②'・③に当てはまる住民が多いことが推測される。

(7) 避難のきっかけ

地震発生後から 5 分ごとの避難開始者に対する避難のきっかけを図-6(a)~(l)に、地震発生時の居場所ごとに分類したものを図-6(m)~(p)に示す。

時間ごとの避難開始のきっかけについて、地震の揺れをきっかけとする回答が最も多く、地震発生 35 分後までは避難開始者の半数を占めている。また、津波襲来時付近（地震発生 45 分後に海岸堤防を越流）では、津波が迫ったことをきっかけに避難する住民が多い。また、津波警報や家族・知人の勧めは、時間の経過に寄らず常

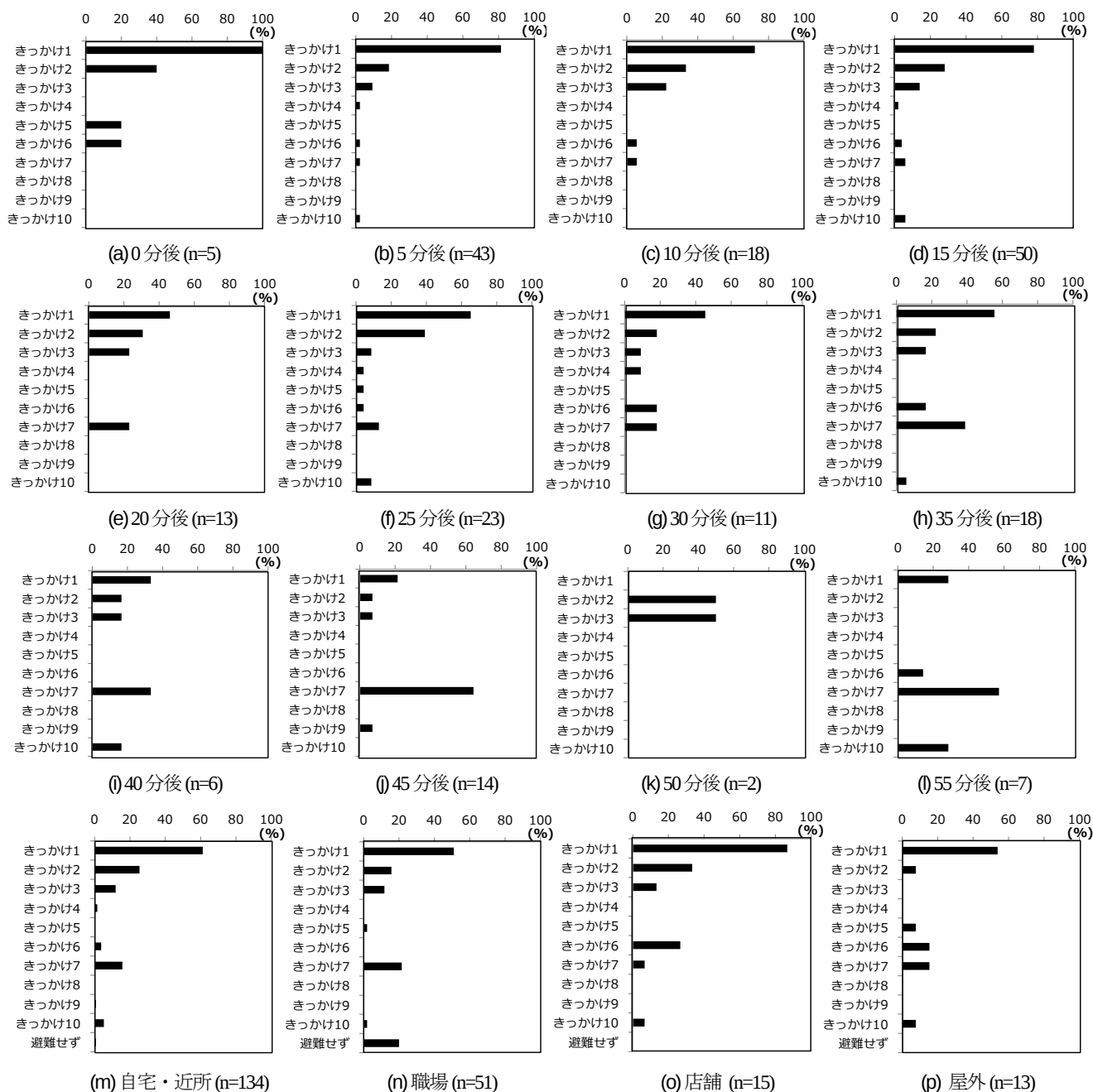


図-6 避難開始のきっかけ。(a)から(l)のキャプションは地震発生後の時間を表す。(m)から(p)のキャプションは各住民の地震発生時の居場所ごとに分類したものを表す。(複数回答可)

に一定数存在する。これは、前節で述べた、フェーズ②・②' が長く継続していることを示唆するものである。

次に、各住民の地震発生時の居場所ごとの分類に注目すると、4つのグラフとも似た傾向を示しており、避難のきっかけは、地震発生時の場所との関係性が薄いことがわかる。この理由の一つとして、自宅外にいた住民の

多くが帰宅し、自宅にいた住民とともに避難開始することで、各自のきっかけが同じになることが考えられる。

既往の調査報告^{9, 10, 12, 14}と比較すると、本分析が示した避難のきっかけと類似した傾向を持つことがわかる。一方で、復興支援調査アーカイブでは避難開始のきっかけに関する調査の選択肢において、住民相互の影響を十

分に考慮できていない。例えば、中央防災会議による調査報告¹⁴⁾では、宮城・岩手・福島の3県を対象として、回答者の17%が避難行動者を目撃することが避難開始のきっかけとなったと報告されている。本分析においても、きっかけのその他を選択した回答者の一部が、「人が逃げていたから」と回答している。志津川地区においても、住民の相互影響が避難開始に少なからず影響していたことが推測できる。

3. 避難者発生シミュレーションの課題

本章では、著者らが開発してきたシミュレーション³⁾⁹⁾を用いて、東日本大震災における宮城県南三陸町志津川地区の避難開始の解析を行う。結果を2章で得られた知見と比較することで、避難者発生シミュレーションの課題を明らかにする。

(1) 手法

a) 避難者発生モデル

著者らはこれまで、住民が地域で醸成される「逃げなければ」という雰囲気を感じ取って避難を開始するという考え方にに基づき、避難者発生モデルを開発してきた³⁾⁹⁾。「逃げなければ」という雰囲気は、社会を構成する様々な人々や自然現象によって醸成され、住民一人ひとりの振る舞いも大きな役割を担っている。これは、専門家（行政など）が非専門家（住民など）に危険を知らせ、情報を受け取った非専門家は論理的な意思決定プロセスに基づき避難を開始するかどうかを判断するという従来の捉え方とは異なる。避難開始過程を個人レベルだけでなく、コミュニティレベルで捉えている点にも大きな違いがある。

本モデルは、避難開始前後の住民の振る舞いを、①避難に関する情報を取得し危機感を高め、②高まった危機感が上限（閾値）に達すると避難を開始し、③避難を行うとともに情報発信源として振る舞うとして表現する。住民 i の危機感が高まる様子は、(1)・(2)式で記述される。

$$y_i^t = y_i^{t-\Delta t_G} + \Delta t_G F_{con}(n_i^t) \sum_{j=1}^N M_{ij}^t W_j x_j^t \quad (1)$$

$$F_{con}(n_i^t) = \frac{45.68 + 45.09 * \ln(n_i^t)}{45.68} \quad (2)$$

ここで、 y_i^t は時刻 t における住民 i の危機感、 $F_{con}(n_i^t)$ は時刻 t における住民 i の情報取得数 n_i^t に依存する集団同調性バイアス（Milgramら¹⁵⁾）、 N は情報発信のポテンシャルを持つ因子の総数、 Δt_G は避難者発生モデルの計算時間間隔、 W_j は情報発信源 j の重み（避難を促す力

の大小を表す情報発信源に固有の性質と定義）を表す。また、 M_{ij}^t は時刻 t における住民 i と情報発信源 j の影響範囲内位置関係を表す関数、 x_j^t は時刻 t における情報発信源 j からの情報発信の有無であり、ともに1もしくは0で表す。

住民 i の危機感 y_i^t が上限（閾値） θ_i に達することで避難を開始し、情報発信源として振る舞う様子は、(3)・(4)式で記述される。

$$x_i^t = \begin{cases} 0 & (y_i^t < \theta_i \text{ のとき}) \\ 1 & (y_i^t \geq \theta_i \text{ のとき}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta_i = R/r_i \quad (4)$$

ここで、閾値 θ_i は0～1の一樣乱数 r_i の逆数と定数 R の積によってランダムに与えられる。 R は地域ごとの避難開始のしやすさを表し、本研究では $R = 1$ とする。

また、情報発信源の重みは、住民の避難開始に及ぼす影響力の大きさを表す情報発信源ごとに固有の数値として定義され、社会調査のデータを用いて以下の手順で算定する。

- ① 情報発信源 j の情報を取得した人びとの割合 N_j とその情報を避難のきっかけとした人びとの割合 P_j の両項目がある社会調査を選定
- ② 情報発信源 j の影響力の大きさを P_j/N_j として算定
- ③ P_j/N_j を地震の揺れの値との比で整理
- ④ 地震による揺れの直後に避難した人びとの割合の実績値と一致するよう地震の揺れの重み W を試行錯誤的にシミュレーションを実施して決定
- ⑤ ③の結果から、その他の情報発信源の重みを算定

b) 避難行動モデル

本モデルは、清野らが開発した個別要素法（DEM）¹⁶⁾に基づく手法を用いた。本モデルの主たる特徴は、住民を円柱要素でモデル化し、住民間の物理的距離および心理的距離をバネとダッシュポットを用いることで表現できること、また、各要素に働く外力に対して運動方程式を解くことで、それぞれの挙動を表現できることである。障害物回避やすれ違い、追い越しといった基本的な人間行動を再現でき、屋内等の比較的狭い空間での避難行動分析に適した手法であるが、本事例のような屋外の広域における避難行動シミュレーションにも適用できる。詳しくは、清野らの研究¹⁶⁾を参照されたい。

(2) パラメータ

解析対象地域は、東西方向に約3,200m、南北方向に約2,200mの領域でモデル化した。対象とする住民は5,351名で、国土地理院の基盤地図情報を基づき発災前の住宅に該当する場所に配置した。また、南三陸町で揺れの直後に避難をした住民の割合を13.0%とする調査報告⁹⁾および

中央防災会議の調査報告¹⁴⁾を用いて本研究で使用する情報発信源を表-1のように設定した。なお、住民は健常者を仮定し、避難を開始した住民全員が呼びかけを行い、かつ避難を開始していない住民全員が避難行動者を目撃できると仮定するとともに、最も近い避難場所に徒歩で向かうこととした。避難行動モデルで用いるパラメータを表-2、表-3に示す。

(3) 解析結果・考察

避難開始のタイミングについて、解析で得られた結果と図-5(a)の比較を図-6に示す。また、避難しなければならないという雰囲気醸成度のスナップショットを図-7に示す。図-7から、地震の揺れがおさまった時点で全体の13.0%の住民が避難を開始した直後、避難行動者が通過する経路付近において「逃げなければ」という雰囲気が強く醸成されることがわかる。このとき、付近にいた避難を開始していない住民の多くが、危機感が急激に高まり閾値に達することで避難を開始した。揺れがおさまった直後から避難開始者は急増し、地震発生5分後付近で全体の97.3%が避難を開始する結果が得られた。これは図-6からも明らかのように、2章6節で得られた対象地域の実態とは大きく異なるものであった。これらを踏まえ、次節では本シミュレーションにおける課題を考察する。

(4) 避難者発生シミュレーションの課題

本節では、前章で得られた志津川地区における避難開始の実態を踏まえ、避難者発生シミュレーションの課題を考察する。

本モデルでは、危機感が閾値に達した住民は避難を開始する。図-3(a)より、住民の7割ほどが地震発生後最初の移動の目的が避難であったこと、同災害における宮城・岩手・福島3県における傾向が本分析結果と似通っていることから、本モデルは、東日本大震災における津波被害を受けた地域のおよそ7割の住民の挙動を扱っているといえる。

また、閾値の定義と実態の違いにも注意する必要がある。著者らは「危機感が閾値を超えている」という状態を、「何らかの阻害要因を取り除けば、即座に避難を開始する」状態と定義している。図-4を例として、避難するまでに、家族等を気遣う行動、救助、業務等を行った住民の中には、危機感が閾値に達した人もいる可能性がある。

さらに、2章6節で提案した避難開始のフェーズに関して、②主に揺れにより自宅等にいる家族・知人を迎えに行った後避難を行う住民、または、迎えによって避難を行う住民が多く生成されるフェーズを、本モデルは考

表-1 情報発信源の特性

	地震の揺れ	大津波警報	行政の呼びかけ	住民の呼びかけ	避難者の目撃
重み	7.10×10^3	7.12×10^3	5.26×10^3	5.25×10^3	3.01×10^3
時間特性 (影響時間)	地震発生から180秒まで	地震発生から180秒後以降 ^{**}	地震発生から180秒後以降 ^{**}	地震発生から180秒後以降 [*]	地震発生から180秒後以降 [*]
空間特性 (影響範囲／位置)	—	—	—	影響半径30m／避難者の位置	影響半径110m／避難者の位置
空間特性 (カテゴリ)					
数	1	1	1	最大5351	最大5351
備考	—	受け取らない住民の割合13.0% ^{***}	受け取らない住民の割合23.9% ^{***}	—	—

*石巻市で震度4に相当する揺れが継続していた時間¹⁵⁾。揺れている間は動けないと仮定。

**地震発生から180秒後に津波警報が発令された¹⁶⁾。

***南三陸町で大津波警報を受け取った人びとの割合87%、行政の呼びかけを聞いた人の割合76.1%⁹⁾。

表-2 移動速度に関するパラメータ¹⁸⁾

平均(m/s)	標準偏差(m/s)	最小値(m/s)	最大値(m/s)
1.21	0.30	0.67	2.40

表-3 避難者相互作用に関するパラメータ¹⁹⁾

個体要素半径(m)	2.59×10^1	個体要素減衰定数	(法線方向) 1.35×10^3
個体要素仮想半径(m)	7.17×10^1	(N・s/m)	(接線方向) 3.02×10^2
単位高さ当たりの質量(N/m)	3.54×10^2	個体要素仮想バネ定数	(法線方向) 6.62×10
個体推進加速度(m/s ²)	8.61×10^1	(N/m)	(接線方向) 3.31
個体要素バネ定数(N/m)	(法線方向) 1.26×10^4	個体要素仮想減衰定数	(法線方向) 9.79×10
	(接線方向) 6.30×10^2	(N・s/m)	(接線方向) 2.19×10

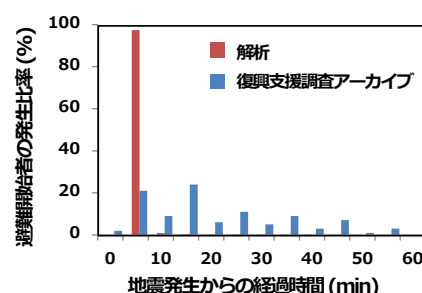


図-6 避難開始のタイミング（解析結果と復興支援調査アーカイブ分析結果の比較）

慮できていない。このフェーズでは、閾値に達したことで避難を念頭に置きながらも自宅に戻った住民や、閾値に達した後も迎えが来るまで自宅にとどまる住民が少なからず存在したことが考えられる。

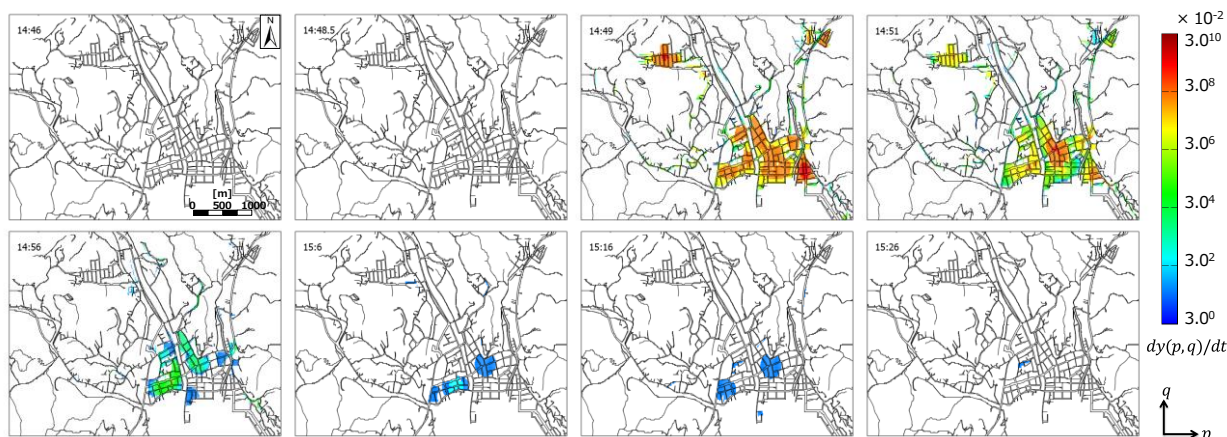


図-7 避難しなければならないという雰囲気の醸成度の空間分布

これらを踏まえると、解析において地震発生5分後付近で閾値に達した97.3%の住民の多くが、危機感が高く津波避難を意識しているからこそ、別の行動をとっていた可能性を示唆できる。そして、各自の行動が達成され次第、即座に津波避難を行ったと考えられる。今後、避難者発生シミュレーションにおいて、閾値と避難開始の関係および閾値の分布について、より深い検討が必要となる。

4. 結論

本研究では、復興支援調査アーカイブ⁹⁾を用いて、地震発生時の居場所と住民の津波避難開始行動の関係に注目し、東日本大震災における宮城県南三陸町志津川地区の避難開始の実態を明らかにした。その後、避難者発生シミュレーションを適用し、得られた結果と実態を比較することで、シミュレーションの課題を考察した。得られた主要な結論を以下に記す。

- 1) 対象地域では、地震発生時の居場所によって、地震発生後最初の移動の目的が大きく異なる傾向にあった。自宅・近所にいた住民の86%、屋外にいた62%が他の場所へ移動することなく、避難を行っていた。一方で、職場にいた住民の47%、店舗にいた67%は避難以外の行動をとっていた。その大部分は家族・親戚・知人を気遣う行動であり、自宅に戻った後避難を開始していた。
- 2) 対象地域では、津波避難開始に関して、以下の5つのフェーズが存在したと考えられる。まず、①揺れにより即座に避難を行う住民が多く生成されるフェーズを迎える。その後、②揺れにより自宅等にいる家族・知人を迎えに行った後避難を行う住民、または、迎えによって避難を行う住民が多く生成されるフェーズとともに、②' 行政等の呼びかけにより避難

を行う住民が多く生成されるフェーズを迎える。③これらのフェーズで生成した集団に影響を受けて避難を行う住民が多く生成されるフェーズが続き、最後に④津波襲来による切迫避難を行う住民が多く生成されるフェーズを迎える。

- 3) 対象地域では、避難開始のきっかけは地震発生時の居場所によらず、似た傾向を示していた。理由として、自宅外にいた住民の多くが帰宅し、自宅にいた住民とともに避難開始することで、各自のきっかけが似通うことが考えられる。なお、地震の揺れを津波避難のきっかけとする割合が突出して多い。
- 4) 避難者発生シミュレーションを用いて当該地域の津波避難の状況を分析したところ、避難開始のタイミングをかなり迅速に評価する結果となった。本モデルは、住民の7割ほどの挙動を対象としているものの、自宅等にいる家族等を迎えに行った後避難を行う住民、または、迎えによって避難を行う住民が多く生成されるフェーズを考慮できていない。今後、閾値と避難開始の関係および閾値の分布について、より深い検討が必要となる。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 特別研究員奨励費（16J10657）による支援を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 三上卓：東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.70, No.4, pp.908-915, 2014.
- 2) 野地貴範：被災地は今。復興が進み、にぎわいが戻る 茨城県大洗町・笠間市，ジャフメイト 2014年3月号，（株）JAF MATE 社，pp.29, 2014.
- 3) 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,

- 2014.
- 4) 高橋邦典：「あの日」のこと 東日本大震災 2011・3・11, ポプラ社, 65p., 2011.
 - 5) 矢守克也：防災人間科学, 東京大学出版会, 284p., 2009.
 - 6) 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, 2015.
 - 7) 奥村与志弘, 小川夢斗, 土肥裕史, 清野純史：津波避難者発生シミュレーションを用いた津波災害時における住民の危機感の高まりやすさの地域差分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, 2016 (印刷中) .
 - 8) 国土交通省都市局：復興支援調査アーカイブ, <http://fukukou.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 2016 年 1 月参照.
 - 9) 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, http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf, 2016 年 1 月参照.
 - 10) 中央防災会議 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：平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）分析結果, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousaikai/tohokukyokun/7/pdf/1.pdf>, 2016 年 1 月参照.
 - 11) 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, No.2, pp.I_1609-I_1614, 2015.
 - 12) ウェザーニューズ：東日本大震災 津波調査（調査結果）, http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf, 2016 年 1 月参照.
 - 13) 気象庁：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震時に震度計で観測した各地の揺れの状況について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/25a/201103251030.html>, 2016 年 1 月参照.
 - 14) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 津波避難対策検討ワーキンググループ：東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査〔主な調査結果〕, http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/20121221_chousai1_1.pdf, 2016 年 1 月参照.
 - 15) Milgram, S., Bickman, L. and Berkowitz, L. : Note on the Drawing Power of Crowds of Different Size, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.13, pp.79-82, 1969.
 - 16) 清野純史, 三浦房紀, 瀧本浩一, 中島庸一：個別要素法を用いた群衆行動シミュレーション, 地域安全学会論文集, Vol.4, pp.322-327, 1994.
 - 17) 南三陸町：東日本大震災による被害の状況について, <https://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/17,181,21,html>, 2016 年 1 月参照.
 - 18) 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士郎, 辻正矩：建築と都市の人間工学, 鹿島出版社, pp.16-23, 1977.

RELATIONSHIP BETWEEN THE INDIVIDUAL LOCATION WHEN AN EARTHQUAKE OCCURS AND THE START OF TSUNAMI EVACUATION

Yuji DOHI , Yoshihiro OKUMURA and Junji KIYONO

Many people could/did not evacuate from tsunami in the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami. Solving problems of the evacuation start is very important to mitigate human losses due to tsunami disasters. In the present paper, we developed the evacuee generation simulation based on the viewpoint in which various agents in our society play an important role in the start of tsunami evacuation. In this research, using “Digital Archiving of the Great East Japan Earthquake Survey”, we analyzed the relationship between the individual location when an earthquake occurs and the start of tsunami evacuation in Minamisanriku town in the case of the 2011 Tohoku tsunami. The results revealed that the start of tsunami evacuation was much different depending on the individual location when an earthquake occurs. About 90% of residents in their houses and about 60% of residents outside buildings started evacuation before they went to other places. However, about half of residents in their offices and about 70% of residents in stores went to other places before they started evacuation. Most of them started evacuation after they went back home.