

藤沢市片瀬地区における津波避難計画の提案（概要）

研究責任者 東北大学 災害科学国際研究所
教授 村尾 修
共同研究者 東北大学 災害科学国際研究所
助教 杉安和也

1. はじめに

1. 1 研究の背景と目的

2011年3月11日の地震と津波を発端とした東日本大震災は、被災地のみならず、被災地以外の沿岸地域での津波防災計画にも多大な影響を及ぼしている。たとえば、内閣府による南海トラフ巨大地震の被害推定をはじめとし、各自治体においても被害想定および地域防災計画の見直しが行われ、沿岸部における津波避難計画も重要な検討事項となっている。

津波防災対策のひとつに、津波避難ビルの建設・指定がある。内閣府の津波避難ビル等に係るガイドライン¹⁾によると、津波避難ビルとは、津波浸水予想地域内において、地域住民等が一時もしくは緊急避難・退避する施設と定義されており、東日本大震災後、多くの自治体が指定を強化する政策を実施している。

本研究の対象地である神奈川県藤沢市の片瀬海岸は、年間400万人以上もの海水浴客が訪れる全国有数の海水浴場として知られており、昭和50年代から同報無線の整備や津波避難ビルの指定など、津波対策に取り組んできた（図1.1）。また東日本大震災が発生した後の2012年度からは、地域住民と津波避難ビル所有者との連携のもと、市を介さない津波避難訓練の取り組み

も始まった。それでも、津波来襲時の地形的要因による避難経路の判断の難しさ、避難場所の確保、津波避難ビル指定の交渉の難しさ、住民および観光客への避難方法の周知、指定された避難ビル住民の受入対応など、解消すべき課題が多く残されている。

本研究は、地域の津波避難リスクを評価し、潜在的な津波避難施設を考慮した津波避難計画路を提案し、ハザードマップおよび津波避難ビル運用マニュアルを作成することにより、地区の津波被害のリスク軽減に資することを目的とする。



図 1.1 藤沢市の片瀬西浜海岸

1. 2 既往研究

津波避難に関する研究は多々ある。その中で当該地区に関するものとしては、藤岡らの研究²⁾が挙げられる。そこでは、同地区を対象として津波避難行動をマルチエージェントモデルによりシミュレーションし、

津波による人的被害を算出している。

本研究の主要な柱のひとつは、津波避難ビルの運用である。近年、津波避難ビル指定に関する協定が各地で広まっているが、その歴史は浅いため、運用上の問題について深く取り上げた研究はまだ少ない。本研究はそのような背景の中で、申請者の関わっている地域との関係を大いに活かし、進めていくものである。



図 2.1 対象地（片瀬西浜・鵜沼地区）

1. 3 研究の方法

本研究は、現状の津波避難経路および津波避難ビル運用上の問題を考慮し、以下の内容で順次進めていく。

- ①津波避難リスクの現状把握
- ②潜在的な津波避難収容能力の評価と適切な津波避難計画の分析
- ③津波避難施設所有者の意識調査
- ④ハザードマップの作成

2. 津波避難リスクの現状把握

2. 1 対象地の概要と津波避難に関する課題

対象地が属している藤沢市は、津波対策に力を入れている自治体の一つである。藤沢市は、神奈川県が 2012 年 3 月に発表した津波被害予測³⁾で、津波による浸水被害が予想されている地域である。特に市南部の海岸に面した片瀬西浜地区と鵜沼地区は、浸水域が広大になる地域として発表されており、被害を軽減するため、現在、海岸近くに津波避難ビルが多く指定・建設されている。本研究では、この片瀬西浜・鵜沼地区を対象とする（図 2.1）。

内閣府と国土交通省が取りまとめた「津波避難ビル等」に関する実態調査結果⁴⁾によると、2011 年 10 月 31 日現在、藤沢市は 183 棟が指定されている。これは、神奈川県内の市町村で最も多く、神奈川県内にある津波避難ビルの 42.7%が藤沢市にあることになり、海岸沿いの建物の指定も含め、指定が強化されていることがわかる。

藤沢市片瀬西浜地区の地形に注目すると、海岸から内陸に向かって、一旦高くなり、その後低くなり、再度高くなるという特殊な地形を有している（図 2.2）。



図 2.2 対象地区の地形的特性による津波避難方向決定の難しさ

津波避難は、海岸とは逆方向に避難するのが一般的だが、こういった特性を持った地域では、海岸に向かう方向でも、海岸付近の津波避難ビルに逃げたほうが適切という場合も考えられる。2012 年 8 月 29 日に内閣府が発表した、南海トラフの巨大地震

に関する津波高、想定浸水域、被害想定⁵⁾の中でも、国や関係公共団体に対し、津波対策の一つとして津波避難ビル等の安全な避難空間を作る必要性について述べており、早期避難及び津波避難ビルを有効活用することにより、津波による死者数が大幅に減少するという予測が発表されている。

藤沢市の洪水ハザードマップには一定の経路が記載されているものの、現在発行されている津波情報ハザードマップには、どちらに逃げたらよいかに関する情報が無い。現状のままだと、津波来襲時に、海岸方向の津波避難ビルに逃げたほうが適切であるにもかかわらず、高台方向に逃げようとして、避難が間に合わず、犠牲になってしまうリスクがある。そのため、津波来襲時に海岸の津波避難ビルと高台の方向のどちらに逃げたらよいかの情報を示すことが必要である。ここでは、神奈川県藤沢市片瀬西浜地区を対象に、津波避難時間を考慮した津波避難リスクを評価する。

2. 2 想定津波と浸水域の設定

津波避難のリスクを評価するうえで、想定される津波と浸水域を考慮しなくてはならない。藤沢市では、既に洪水ハザードマップと津波ハザードマップ⁶⁾を整備しているため、これらに示されている基本情報を用いることにする。神奈川県は2013年3月に津波浸水予測図⁷⁾を発表した。本研究では、最も浸水域が広大で、大きな被害が予想される「慶長型地震(図2.3)」を前提として、津波避難のリスクを評価していく。

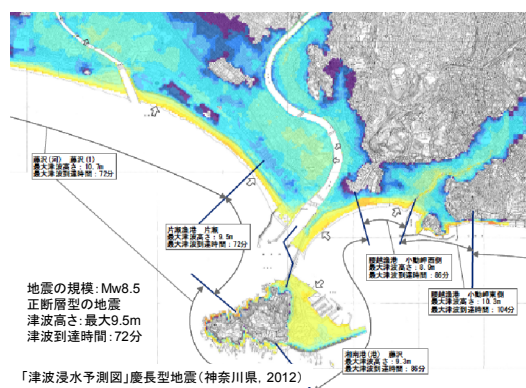


図 2.3 神奈川県による慶長型地震による津波浸水予測図⁷⁾

2. 3 津波避難時間図の作成

ここでは、対象地区内の各地から想定浸水域外へと避難する経路と、避難に要する時間を考えていく。各地点からの津波避難経路の選定には、低地部から高台へと向かう標高に基づいた経路を考えていかななくてはならない。本研究では、藤沢市洪水ハザードマップの記載経路を参考にした。

まず、各地点から浸水域外へ避難するまでの時間を算出するために、津波浸水予測図の浸水予測域の一番外側のライン(以下、浸水予測ライン)を藤沢市洪水ハザードマップ中に書き入れ、100m 間隔のメッシュを入れ、各メッシュの中心点をプロットした地図を作成した(図2.4)。

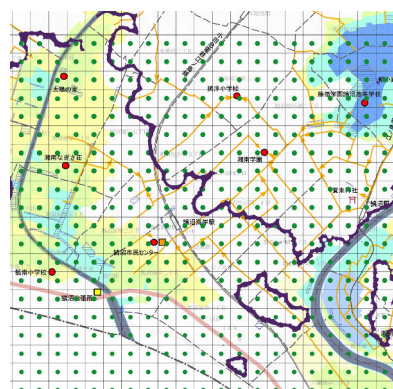


図 2.4 対象地域の100mメッシュ分割

次に、各メッシュの中心点から浸水予測ラインまでの最も近い場所まで避難することを想定した際の避難所要時間を求めた。避難所要時間の算出にあたっては、以下のルールを設けた。

- ① 避難経路は、原則として、洪水ハザードマップに記載されている経路（以下、「洪水避難経路」とする）を通るように決定する。
- ② ただし、洪水避難経路は代表的な道路を示しているだけであり、狭隘道路について詳細な避難方向は示されていない。そのため、各メッシュの中心点から洪水避難経路に到達するまで経路については、実際の道路ネットワークに基づき、その距離が最短になるように決定する。
- ③ 経路が複数考えられる場合は、距離が最短なものを選択する。
- ④ 洪水避難経路をたどっていき、浸水予測ラインと交わったところを避難完了地点とする。
- ⑤ 避難開始地点（中心点）から避難完了地点までの距離を求め、それを避難歩行速度で除したものを津波避難時間とする。なお、本研究において避難歩行速度は、石田ら⁸⁾の研究手法を踏まえた川崎ら⁹⁾の研究で用いられていた67m/minを採用した。

こうして得られた各地点における津波避難所要時間をメッシュごとに色分けして作成された地図を図2.5に示す。これをここでは、津波避難時間図と呼ぶことにする。

これは、市により指定されている津波避難ビルの存在を考慮しない潜在的な津波避難リスクの空間的分布を示したものである。

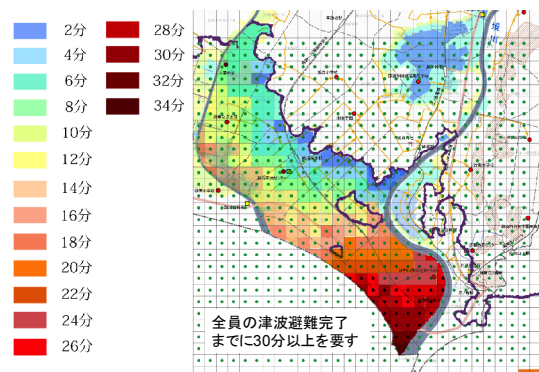


図 2.5 津波避難時間図（津波避難ビル考慮せず）

次に、指定されている津波避難ビルに避難した場合の津波避難時間図も作成したい。そこで、図2.4の地図に津波避難ビルの位置を書き込み、各メッシュの中心点から最寄りの津波避難ビルまたは津波予測ラインのいずれか距離が短い方の地点まで避難することを想定した場合の避難所要時間を、以下のルールを設定し、求めた。

- ① 中心点から実際の道路ネットワークに基づき、その距離が最短になるような津波避難ビルを1つ選ぶ。これを最寄りの津波避難ビルとする。
- ② 中心点から最寄りの津波避難ビルまでの距離を求め、それを避難歩行速度で除したものを津波避難時間とする。

こうして、津波避難ビルを考慮した場合の津波避難時間図（図2.6）を作成した。

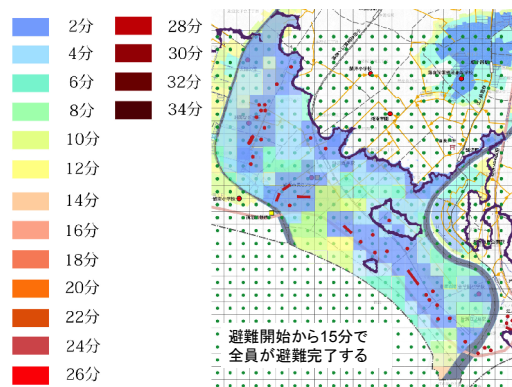


図 2.6 津波避難時間図 (津波避難ビル考慮)

2. 4 津波避難時間図に基づく津波避難リスクの考察

前節で導いた図 2.5 と図 2.6 を用いて、対象地区の津波避難リスクについて考察していく。

図 2.7 に津波避難ビル活用の有無による避難時間の比較を示す。浸水域内で活動していた人々が、津波避難ビルに避難せず、浸水域外に避難することを考えると、最大で 30 分程度の時間がかかることがわかる。しかし、もし避難ビルに避難するならば、避難時間は最大でも 14 分程度しかかからない。

また図 2.8 は、津波発生から浸水までの時間による避難完了度の比較を示したものである。浸水時間 15 分の場合、約 4 割の人が避難に間に合わない可能性がある。しかし、津波避難ビルの存在を知っており、そちらへ避難することができれば、避難に間に合わない人が出ずに済む。既存の津波避難ビルを利用することにより、避難完了度が大幅に高くなることがわかる。すなわち、津波避難ビルの存在が地域住民の避難行動に有用に効いていることが示されている。まずは、近隣住民への津波避難ビルの

周知を徹底していくことが重要であると言える。

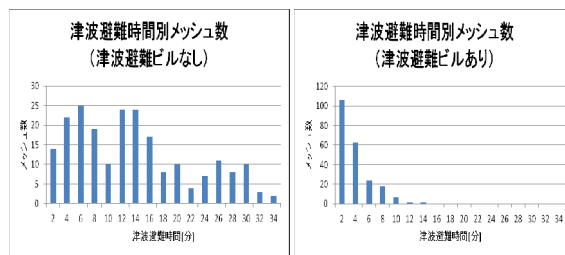


図 2.7 津波避難ビル活用の有無による避難時間の比較

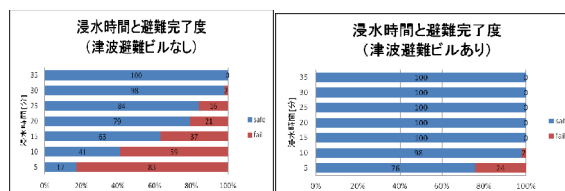


図 2.8 津波発生から浸水までの時間による避難完了度の比較

3. 潜在的な津波避難収容能力の評価

3. 1 津波避難収容能力評価の必要性

対象地である片瀬・鵜沼地区には、夏には多くの海水浴客が、また夏以外にも新江ノ島水族館等を訪れる多くの観光客がいる。観光客以外にも、津波浸水予測地域に住民が生活しており、津波来襲時、それらの避難対象者を安全なところに避難させるための津波対策が必要とされている。前章では、地域としての潜在的な津波避難リスクを評価し、地震発生から津波来襲までに 30 分程度の時間があれば、浸水域外に逃げられることが明らかになった。しかしながら、そこまでの余裕がない場合は、近隣の建物に避難しなくてはならない状況となる。そこで、次の段階として、避難対象者とその受け皿としての周辺建物の避難者収容能力

を評価する。

藤沢市では津波対策として津波避難ビル指定に力を注いでいるが、海岸沿いの住民や観光客らを避難させる分の収容能力があるかどうか課題として挙げられる。そして収容可能な場合はどのような避難計画を作成すべきか、避難が困難な場合はどのような対策が求められるのかという津波避難の方向性を探ることが必要とされる。

本章では、収容能力を考慮した上で、津波避難の際に津波避難ビルを利用することの有効性を明らかにする。

3. 2 使用データ

分析のために、以下のデータを用いた。

①津波避難情報マップ

津波避難情報マップは、地点ごとの標高や10m以上の土地を等高線で示し、津波避難ビルの所在地、名称、階数を地区ごとに表示したマップである(図3.1)。本研究では、同地図を用いて、片瀬地区と鵜沼地区の津波避難情報マップを用いて、津波避難ビルの所在地、名称を確認した。

②津波避難ビル協定一覧

片瀬地区および鵜沼地区における津波避難ビルの建物名称、所在地、最終更新日、海拔、構造、棟数、階数、屋上有無、使用面積、収容人数を表示したものである。

3. 3 津波避難可能施設の抽出

片瀬鵜沼地区において、津波避難可能な建物がどの程度あるのか明らかにするため、以下の手順で実態調査を行った(図3.1)。



図 3.1 津波避難可能施設の調査

- ① 片瀬鵜沼地区(19町丁目より構成)において、ゼンリン住宅地図とGoogleMapを利用し、3階建て以上の建物266棟を抽出した。
- ② ①によって抽出された建物のうち、津波浸水域内の建物205棟を抽出した。
- ③ 浸水域内205棟についての建物特性を確認した。まず、個人住宅とそれ以外の用途に分類し、個人住宅を除外した。その結果、168棟が残った。
- ④ 次に、インターネットを用いて賃貸情報について検索し、構造を確認した。そして、木造を除外した。その結果、非木造の堅牢建物が104棟、確認できなかった建物61棟となった。
- ⑤ 構造不明の建物61棟について、現地に赴き、目視で確認した。その結果、木造が6棟、非木造が59棟であった。
- ⑥ 結果として、浸水域内205棟から津波避難に適さない建物(個人住宅37棟、木造5棟)を除外し、163棟を津波避難可能施設として抽出した(表3.1)。これらの建物と分布を図3.3に示す。

表 3.1 津波避難可能施設の抽出

階数	対象全域	浸水域	不適合建物		適合建物 (*)は避難ビル
			個人住宅	木造住宅	
8F	2	2			2(2)
7F	2	2			2(1)
6F	4	4			4(3)
5F	35	30			30(21)
4F	35	27	4		23(9)
3F	188	140	33	5	102(12)
合計	266	205			163(48)

3. 4 対象地区における津波避難収容能力の評価

ここで、津波避難収容能力の評価を、想定される避難者数と収容可能施設の収容能力との比較により行うことにする。そのために、想定避難者数と津波避難可能施設の収容能力を3つの状況で設定した。その考え方と手順について以下に述べる。

(1) 想定避難者の算出

対象地区は、江ノ島、新江ノ島水族館など、海水浴客以外の観光客も年間を通じて訪れる場所となっている。そのため、地域住民に加え、観光客も避難者として想定する必要がある。しかし、多くの海水浴客が訪れる夏の最盛期と、それ以外の季節では、状況が異なる。そこで、2月のオフシーズンと8月のハイシーズンに分けて、以下の3つの想定避難者の状況を設定した。

- I. 対象地区の浸水予想地域住民のみ
- II. 住民+オフシーズンの観光客
- III. 住民+最盛期の観光客

①対象地区の津波浸水予想地域人口

平成22年国勢調査の町丁目別集計¹⁰⁾より、町丁目単位の人口を入手した。しかしながら、対象地区の境界領域については町

丁目界とは一致しないため、面積比により人口を算出した。その結果、対象地区内の人口を16,556人とした。

②オフシーズンの観光客数

オフシーズンは、夏期の海水浴客以外を想定している。海水浴客以外では、江ノ島、新江ノ島水族館、サーファーが見込めるが、このうち90%が江ノ島周辺、10%がその他の地区にいと仮定し、江ノ島周辺の半分の45%が新江ノ島水族館付近にいと仮定した。その算出にあたっては、藤沢市観光客数統計表¹¹⁾を用いた。

平成24年2月の観光客数は462,449人で、一日あたりの平均は15,947人となる。うち45%が対象地区内にいと仮定して、7,176人となった。

③ハイシーズンの観光客数

藤沢市へのヒアリングにより、2013年夏期の片瀬西浜地区への最大海水浴客数は一日あたりおよそ10万人であった。本研究ではこの数値を用いることとする。

この結果、それぞれの想定避難者数は次のようになった。

- I. 片瀬西浜地区の津波浸水予想地域の住民のみ：16,556人（避難対象者数 I）
- II. 住民+オフシーズンの観光客：23,732人（避難対象者数 II）
- III. 住民+最盛期の観光客：116,556人（避難対象者数 III）

(2) 収容能力の算出

ここで収容能力とは、津波避難者を受け入れられる建物内の受入可能空間を指す。通常は、市が指定した津波避難ビルが対象建物となり、その収容人数も市の基準によ

り算出されている。しかしながら、実際には指定されていない建物の中にも、堅牢構造で想定津波高さよりも階数の高い建物が存在する。また市で設定されている基準を変えれば、より多くの避難者を収容することも可能である。ここでは、以下の3つの避難収容能力を設定した。

- A. 津波避難ビル（48 棟）
- B. 津波避難可能施設（163 棟）の共用部
- C. 津波避難可能施設（163 棟）の共用部 + 私有スペース

①津波避難ビル（収容能力 A）

既に藤沢市で協定を結んでいる片瀬・鶴沼地区の津波避難ビル 48 棟の収容人数を確認し、その総和を求めた。なお、藤沢市の収容人数算出方法は、次のとおりである。

藤沢市の収容人数算出方法

- (a) 収容面積は建物の共用部の収容可能面積を測定し算出
- (b) 避難者 1 人当たりが占める面積を $0.6(\text{m}^2/\text{人})$ とし収容人数を算出

②津波避難可能施設の共用部（収容能力 B）

津波避難ビル 48 棟の収容面積は、藤沢市が設定した共用部の収容可能面積である。本研究の調査により抽出された津波避難ビル以外の建物の共用部の面積をひとつひとつ計測することは困難であるため、ここでは津波避難ビル 48 棟のデータから、それ以外の建物の収容可能面積を回帰することにする。そのために、GoogleMap 上の面積計測を用いて、既存の津波避難ビルの建築

面積を計測し、藤沢市から提供された共用部の収容可能面積との相関を分析した。その結果を図 3.2 に示す。

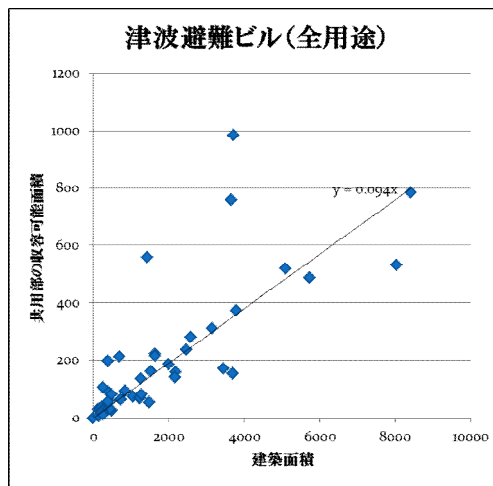


図 3.2 津波避難ビルの建築面積と共用部収容可能面積の相関関係

この結果から、ある程度妥当な線形近似ができているため、グラフの傾き 0.094 を採用する。すなわち、建築面積の 9.4% が共用部の収容可能面積であると仮定し、以下の（式 3.1）により、収容面積を算出した。ただし、県の想定により、津波時には建物 2 階まで浸水すると仮定し、避難階は 3 階以上、屋上面積は屋上までのアクセスがある場合のみ追加することとしている。

$$\text{収容面積} = (0.094 \times \text{建築面積}) \times \text{避難階数} + \text{屋上面積} \quad (\text{式 3.1})$$

そして、避難者 1 人当たりが占める面積を、藤沢市の設定に合わせ、 $0.6 \text{ m}^2/\text{人}$ として、収容能力を求めた。その結果、本条件下での収容能力（収容能力 B）は 34,361 人となった。

③津波避難可能施設の共用部+私有スペース（収容能力 C）

津波避難ビルへの避難は通常は共用空間のみの使用を前提としているが、当該地区のように多くの観光客の避難を見込む場合、私有空間の利用可能性も検討してみたい。そこで、共用部に加え、私有空間（居住スペース、売り場、執務室等）と屋上部（アクセスが無いものも含める）も収容空間として考えた。そこで、大まかな概算として、以下の（式 3.2）により、収容面積を算出した。ただし、ここでも、津波時には建物 2 階まで浸水すると仮定し、避難階を 3 階以上としている。

$$\text{収容面積} = (\text{床面積} \times \text{避難階数}) + \text{屋上面積} \quad (\text{式 3.2})$$

そして、②と同様に、避難者 1 人当たりが占める面積を 0.6 m²/人として、収容能力を求めた。その結果、本条件下での収容能力（収容能力 C）は 282,857 人となった。

その結果、次のようになった。

- A. 津波避難ビル（48 棟）：17,072 人（収容能力 A）
- B. 津波避難可能施設（163 棟）の共用部：34,361 人（収容能力 B）
- C. 津波避難可能施設（163 棟）の共用部 + 私有スペース：282,857 人（収容能力 C）

(3) 想定避難者と収容能力の比較

ここでは、(1) と (2) で行った想定避難者と収容能力の比較を行う。想定避難者と収容能力の設定に用いたそれぞれ 3 つの

状況ごとの比較を図 3.3 に示す。青色が収容能力、赤色が避難対象者数である。

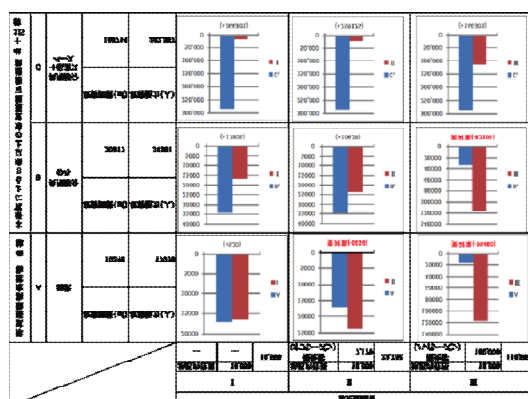


図 3.3 想定避難者と収容能力の比較

この比較から、対象地における想定避難者と津波避難可能施設の収容能力について、次のようなことがわかる。

- ① まず避難対象者 I < 収容能力 A となることから、想定避難者が住民のみの場合、現状の津波避難ビルにおいても収容可能である。
- ② 収容能力 A < 避難対象者 II < 収容能力 B となることから、想定避難者が住民 + オフシーズンの観光客の場合、現状の津波避難ビルでは収容不可能であるが、津波避難可能施設 163 棟が津波避難ビルに指定されるならば収容可能である。
- ③ 収容能力 B < 避難対象者 III < 収容能力 C となることから、想定避難者が住民 + ハイシーズンの観光客の場合、避難対象者数は現在の津波避難可能施設 163 棟の共用部のみの収容能力の 3 倍近くになり、私有スペースの利用や新たな津波避難可能施設の建設が必要であることがわかる。

①は、当該地区住民における津波避難の量的な問題はないととらえることができるが、津波の来襲が切迫している状況においては、避難路と津波避難施設配置の関係が重要となるため、避難路設定の問題（「 α 問題」とする）として、次章で展開していく。

また、②は津波避難ビル指定の問題（「 β 問題」とする）であり、③は地域全体の将来構想を踏まえた都市計画的な課題（「 γ 問題」とする）である。これらについては、今後の課題としたい。

4. 津波避難ビルを利用した避難路計画

本章では、地域住民を対象とした各津波避難ビルの収容能力を考慮した避難路計画の問題（ α 問題）について検討していく。

4.1 最短距離で避難した場合の収容能力評価

津波避難において優先的に考えなくてはならないことは、可能な限り早く安全な場所に避難することであり、避難時間を短縮することが求められる。本節では、対象地の住民が最短距離で津波避難ビルまたは津波到達しない地点まで避難することを想定し、どのような事態が生じるのか群衆密度の指標を用いて検証を行った。

4.1.1 方法

最短距離での避難を想定する方法として、地理情報システムの Networkanalyst を用いてネットワークボロノイ図を作成し、対象地域において津波避難ビルまたは津波到達ラインに最短距離で避難可能な範囲を各々色分けして示した。以下にその手順を

示す。

①ネットワークボロノイ図の作成

ボロノイ図とは隣接する施設間の垂直二等分線の組み合わせによって分割された図をいい、ネットワークボロノイ図とは隣接する施設間のネットワーク距離の二等分によって分割された図をいう。ネットワークボロノイ図を作成することによって、各津波避難地点に最短距離となる道路ネットワークを色分けして示すことが可能となる。

本研究では、道路ネットワークを津波避難地点間の道路ネットワーク距離の二等分で分割し色分けすることで作成する。

津波避難地点は、津波避難ビルと津波到達ラインと道路ネットワークが交わる地点とし、道路ネットワークは神奈川県空間情報データを用いた。津波到達ラインと道路ネットワークが交わる地点への道路はすべて青色で示している。（図 4.1）

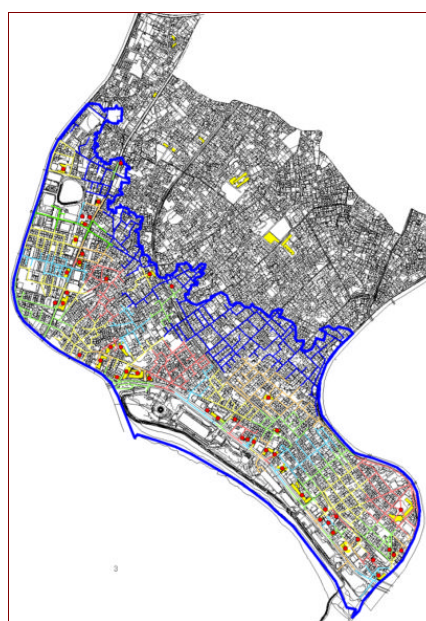


図 4.1 対象地区のネットワークボロノイ図

②津波避難地点ごとの避難範囲

①で作成したネットワークボロノイ図をもとに、各津波避難ビルの避難範囲を定め、線引きして示した（図 4.2）。

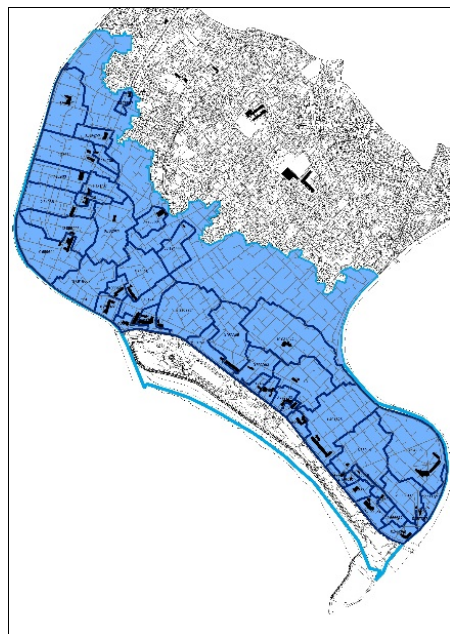


図 4.2 避難範囲(最短距離)

③避難者数の算出

②で定めた各津波避難ビルの避難範囲の面積を求め、人口密度 100.3 人/ha として避難者数を求める。なお、人口密度は、住民 16,556 人を対象地域の面積で除して算出している。

④津波避難ビルごとの収容能力の評価

津波避難ビルごとに、③で求めた避難者数を用いて収容能力評価を行う。図 4.3 において収容能力を上回っている避難範囲を赤色で示している。なお、津波避難ビルの収容能力は、藤沢市が収容面積を測定し設定密度 1.67 人/m²（避難者一人当たりが占める面積 0.6 m²/人の逆数）を掛けて算出したものである。

収容能力(人)＝設定密度 1.67(人/m²)×収容

面積(m²)

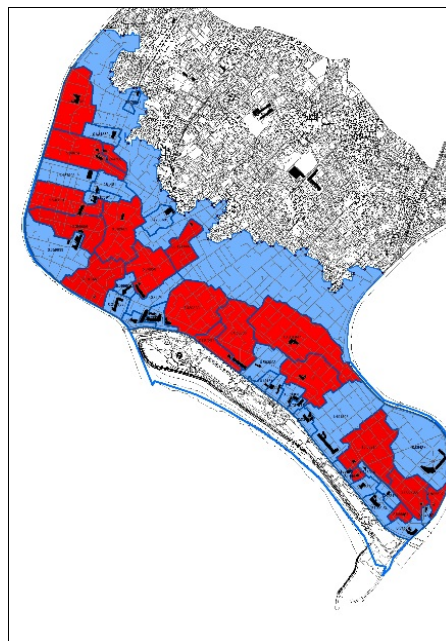


図 4.3 津波避難ビルごとの収容能力の評価

4. 1. 2 設定密度別収容能力評価

4. 1. 1 にて、藤沢市が設定密度 1.67 (人/m²) から算出した収容能力では収容不可能な津波避難ビルがあることを示した。ここでは、津波避難ビルは一時的な緊急避難場所であることを踏まえ、設定密度を大きくしていくこと、すなわち避難者を詰めて収容していくことで収容能力が上がり、収容可能になるかどうかを、群集密度の指標をもとに検証した。群集密度の概要と指標について以下に示す。

(1) 群集密度の概要と指標

群集密度とは、人が 1 m²の単位面積に立つ人数であり、以下の（式 4.1）で表せるものとする¹²⁾。なお群衆密度による状況は、表 4.1 に示す指標により説明できる。

群集密度 (人/m²) = 群集を構成している人数 (人) / 群集の占有面積 (m²) (式 4.1)

(2) 設定密度別の収容能力評価

以上の群衆密度の考え方にに基づき、設定密度別に収容能力評価を行い、津波避難ビルの収容能力を上回る避難範囲を赤色で示した。以下に収容能力の算出式を示す。

$$\text{収容能力 (人)} = \text{設定密度 (人/m}^2\text{)} \times \text{収容面積 (m}^2\text{)} \quad (\text{式 4.2})$$

(式 4.2) により、設定密度を徐々に大きくしながら、それにとまなう津波避難者の収容可否ごとの棟数を計算した。以下にその結果と指標による状況を示す。

- ①設定密度 1.67 (人/m²)
収容可能 : 29 棟, 収容不可能 : 19 棟
- ②設定密度 2.0 (人/m²)
収容可能 : 29 棟, 収容不可能 : 19 棟
- ③設定密度 3.0 (人/m²)
収容可能 : 34 棟, 収容不可能 : 14 棟
- ④設定密度 4.0 (人/m²)
収容可能 : 37 棟, 収容不可能 : 11 棟
- ⑤設定密度 5.0 (人/m²)
収容可能 : 38 棟, 収容不可能 : 10 棟
- ⑥設定密度 6.0 (人/m²)
収容可能 : 40 棟, 収容不可能 : 8 棟
- ⑦設定密度 7.0 (人/m²)
収容可能 : 40 棟, 収容不可能 : 8 棟
- ⑧設定密度 8.0 (人/m²)
収容可能 : 41 棟, 収容不可能 : 7 棟
- ⑨設定密度 9.0 (人/m²)
収容可能 : 41 棟, 収容不可能 : 7 棟

- ⑩設定密度 10.0 (人/m²)
収容可能 : 42 棟, 収容不可能 : 6 棟
- ⑪設定密度 11.0 (人/m²)
収容可能 : 43 棟, 収容不可能 : 5 棟

(3) 設定密度と津波避難ビル収容可能度

設定密度別の収容能力評価をもとに、設定密度ごとに各津波避難ビルに収容可能か否かを調べ、収容可能度としてグラフ化したものを図 4.4 に示す。

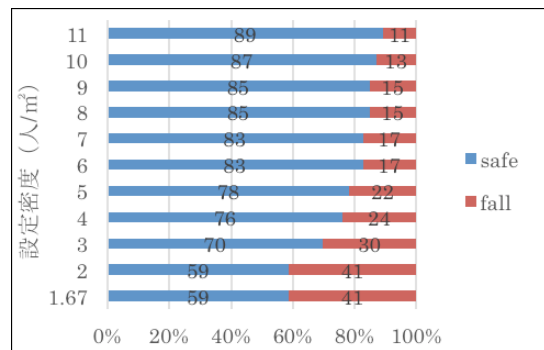


図 4.4 設定密度と津波避難ビル収容可能度

この図より、設定密度を大きくしていくことにより、収容可能な津波避難ビルの割合は増えていくが、雑踏事故が起こる可能性のある設定密度 11.0 人/m²の場合においても収容不可能な津波避難ビルが 1 割程度あることがわかる。すなわち、最短距離のみを考慮した津波避難では 2 次災害のリスクも高くなるため、適切な設定密度を考えなくてはならない。図 4.5 のように、避難が集中し群集密度が高くなる津波避難ビルへの避難者を他の収容能力に余力のある津波避難ビルに分配させる避難路を計画する必要がある。

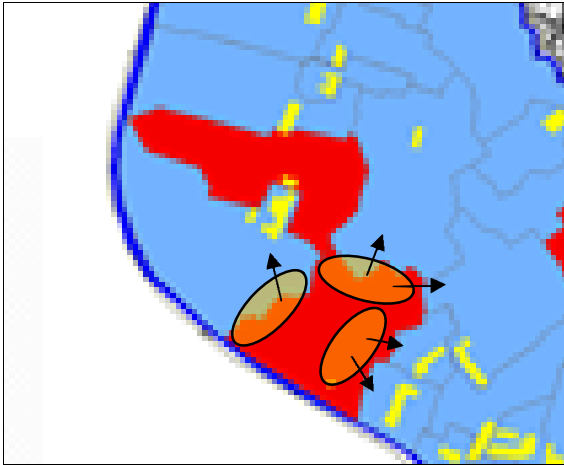


図 4.5 避難者分配イメージ（設定密度 11.0 人/m²）

4. 2 避難者分配型避難の検討

本節では、収容能力を超えてしまう津波避難ビルの避難者を他の避難ビルに分配させる避難者分配型避難について検討する。

4. 2. 1 方法

避難者分配型避難を検討する上では、津波避難ビルの収容能力を超えないように収容能力に合わせて避難者が独自に避難する方向を決める仕組みをつくり、かつ避難距離を最低限に抑える必要がある。そのために GLPK プログラムと地理情報システムを組み合わせたシミュレーションを実施し、その結果をもとに設定密度ごとに避難者分配型避難の検討を行った。その方法について以下に示す。

(1) 避難開始地点の設定

図 4.6 のように対象区域（対象地の浸水域でかつ国道 134 号線より海側は含まない）に 50m×50m メッシュを敷く。メッシュの中心に避難開始地点となるポイントを置き、そのポイントから最短距離となる道路ネットワークに接続させる（図 4.7）。な

お、1メッシュ当りの面積と人口密度 100.3 人/ha より、1メッシュ当りの避難者を 25.0 人とする。

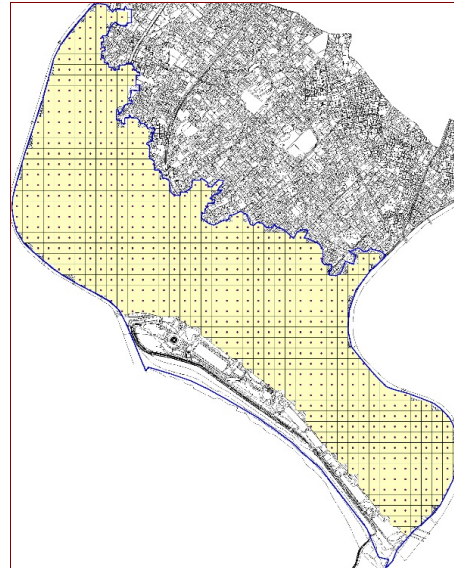


図 4.6 メッシュとポイント

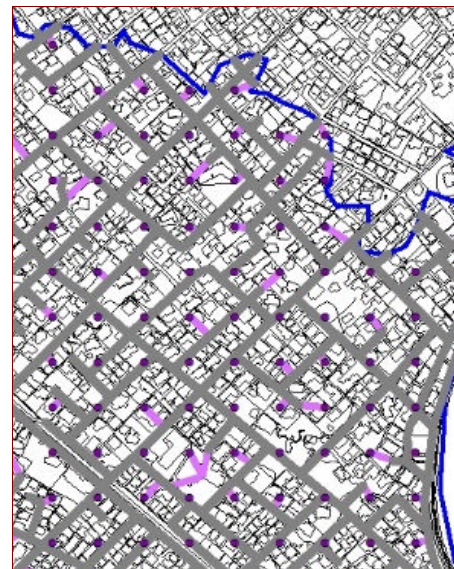


図 4.7 道路ネットワークへの接続

(2) 避難終了地点設定

津波避難ビルと、津波到達ラインと道路ネットワークが交わる地点を避難終了地点として設定する。なお、津波避難ビルの収容能力は、以下の（式 4.3）で表せるものとし、設定密度（1～11 人/m²）による場合

分けを行う。

$$\text{収容能力 (人)} = \text{設定密度 (人/m}^2\text{)} \times \text{収容面積 (m}^2\text{)} \quad (\text{式 4.3})$$

(3) 条件式の設定

GLPK プログラム (線形計画ソルバー) は、避難者を収容能力制約の中で避難距離をなるべく小さく抑えて避難させるシミュレーションを実行するためのプログラムである。GLPK プログラムの内容として以下の条件式を設定している。

- ① 避難距離の総和 (Total_Distance) を最小限に抑える条件式

$$\min(\text{Total_Distance}) = \sum_i^n \sum_j^m P_{ij} \cdot L_{ij}$$

ただし、 $\sum_{j=1}^m P_{ij} = P_i$

P_i : 避難開始地点 i の避難者数 (25 人)

P_{ij} : 避難開始地点 i から避難終了地点 j への避難人口

L_{ij} : 避難開始地点 i から避難終了地点 j への避難距離

- ② 収容能力制約の条件式

避難終了地点 j (津波避難ビル 48 棟) において

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} \leq C_j$$

P_{ij} : 避難開始地点 i から避難終了地点 j への避難人口

C_j : 収容面積と設定密度から算出した収容能力

(4) 避難範囲図及び避難時間図の作成

(3) の条件を踏まえ、避難開始地点と

避難終了地点、道路ネットワークをもとに GLPK プログラムを用いてシミュレーションを実行し、避難開始地点のメッシュごとに避難先の津波避難ビルと津波避難時間を算出した。そして地理情報システムを活用して設定密度ごとに避難範囲図及び避難時間図を作成した。

避難範囲図は、避難開始地点のメッシュを避難先の津波避難ビルごとに色分けしている。なお、津波到達ラインと道路ネットワークが交わる地点へ避難する避難開始地点のメッシュはすべて白色で示している。また、避難時間図は、メッシュごとに、避難開始地点から避難終了地点までの距離を避難歩行速度 67m/min で除して避難時間と算出し、分刻みで色分けすることで作成した (図 4.8)。なお、本研究において、避難歩行速度は、石田ら⁹⁾の研究手法を踏まえた川崎ら¹⁰⁾の研究で用いられていた 67m/min を採用する。

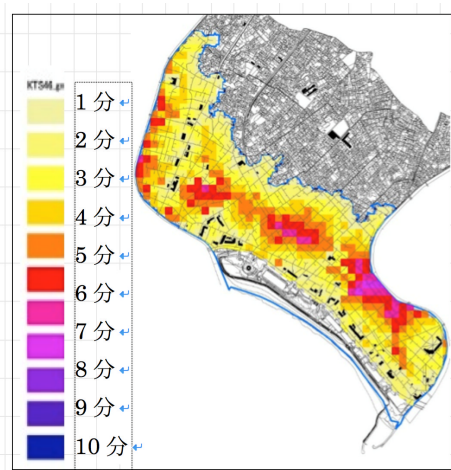


図 4.8 避難時間図 (設定密度 1.67 人/m²)

4.2.2 設定密度別シミュレーション結果

以下に設定密度ごとのシミュレーション結果を図 9 から図 20 に示す。

① 設定密度 1 人/m²

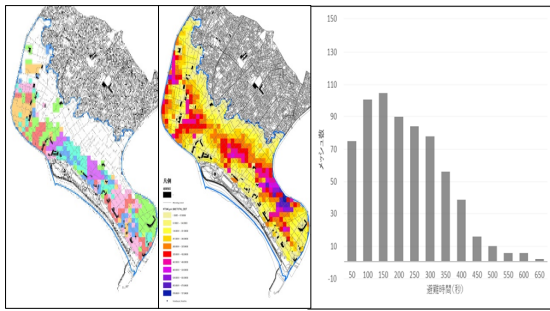


図 4.9 設定密度 1 人/m²

⑤ 設定密度 4 人/m²

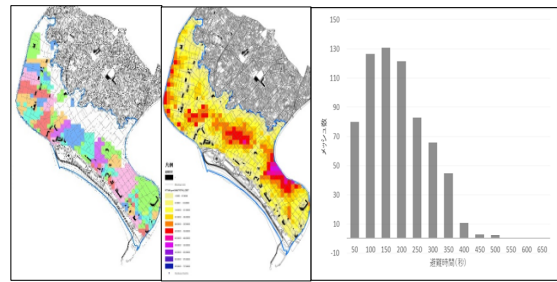


図 4.13 設定密度 4 人/m²

② 設定密度 1.67 人/m²[藤沢市の目安]

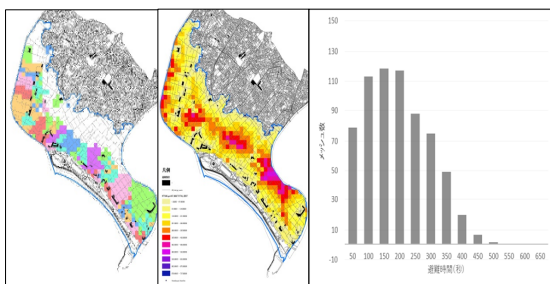


図 4.10 設定密度 1.67 人/m²

⑥ 設定密度 5 人/m²

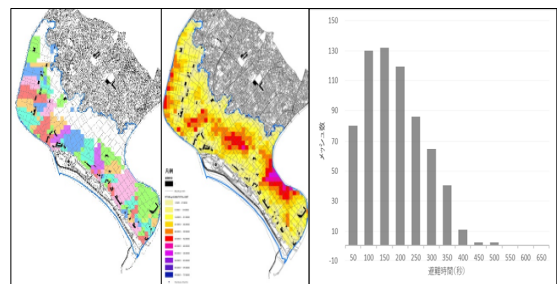


図 4.14 設定密度 5 人/m²

③ 設定密度 2 人/m²

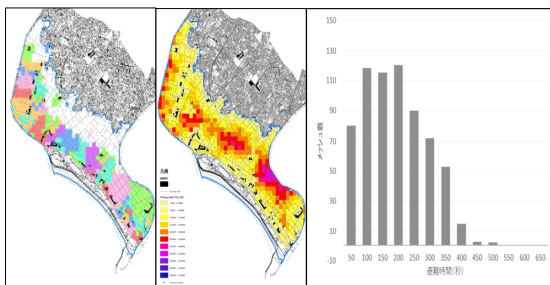


図 4.11 設定密度 2 人/m²

⑦ 設定密度 6 人/m²

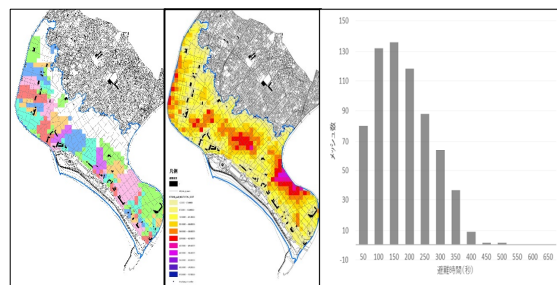


図 4.15 設定密度 6 人/m²

④ 設定密度 3 人/m²

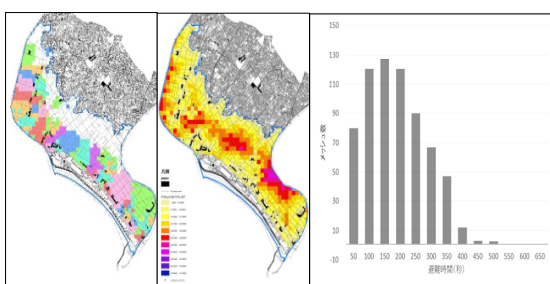


図 4.12 設定密度 3 人/m²

⑧ 設定密度 7 人/m²

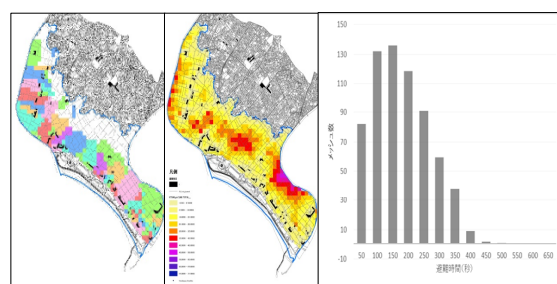


図 4.16 設定密度 7 人/m²

⑨ 設定密度 8 人/m²

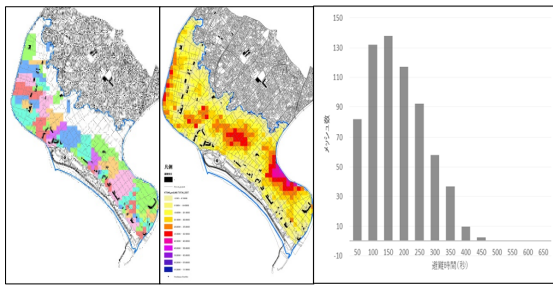


図 4.17 設定密度 8 人/m²

⑩ 設定密度 9 人/m²

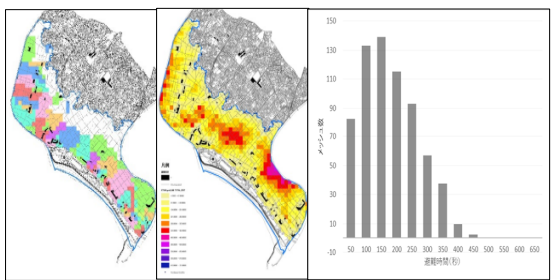


図 4.18 設定密度 9 人/m²

⑪ 設定密度 10 人/m²

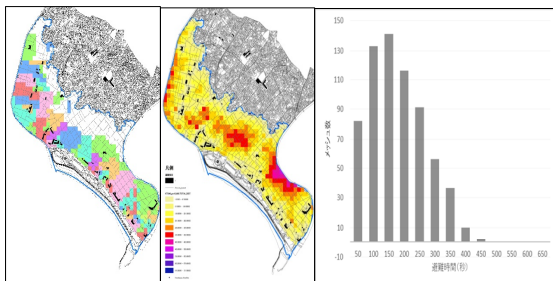


図 4.19 設定密度 11 人/m²

⑫ 設定密度 11 人/m²

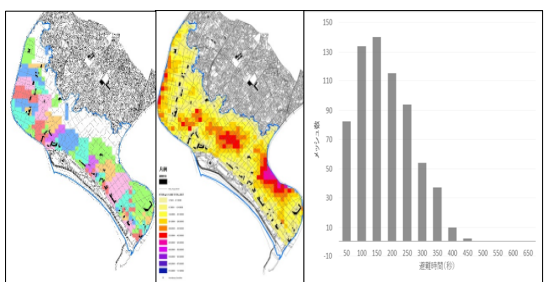


図 4.20 設定密度 11 人/m²

4.3 避難者分散型避難に関する考察

上記のシミュレーション結果について、以下のように考察する。

(1) 設定密度による避難傾向の変化

設定密度を大きくするにつれ、避難範囲に変化があり、設定密度 1.0 人/m²、1.67 人/m²、7.0 人/m²の状況で次のように変化が大きく見られた (図 4.21)。

- ① 設定密度 1.0 人/m²のケースでは、収容能力が大きい津波避難ビルや津波到達ラインの避難範囲が大きいことがわかった。津波到達ラインへの避難範囲は全体の約 42%を占めている。
- ② 設定密度 1.67 人/m²のケースでは、設定密度 1.0 人/m²のケースより、全体的に各津波避難ビルの避難範囲が大きくなり、津波到達ラインの避難範囲 (全体の約 33%) が小さくなっている。
- ③ 設定密度 7.0 人/m²のケースでは、収容能力が小さい津波避難ビルの避難範囲が設定密度 1.67 人/m²のケースより大きくなり、収容能力が大きい津波避難ビルや津波到達ラインの避難範囲 (全体の約 26%) が小さくなっている。また、設定密度 7.0 人/m²以上のケースでは、避難範囲の変化が小さい。

このことから、設定密度が小さいケースでは、収容能力が大きい津波避難ビルや津波到達ラインへの避難者が多い傾向にあり、設定密度が大きくなるにつれ収容能力が小さい津波避難ビルへの避難者が多くなっていく傾向があることが示せた。

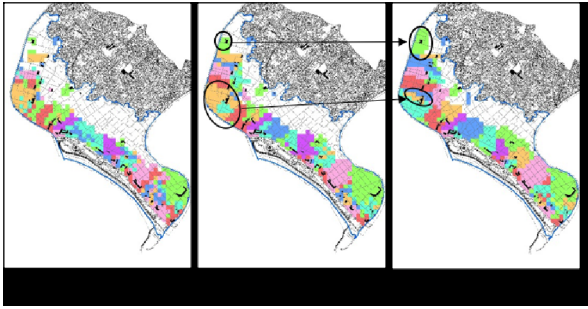


図 4.21 設定密度を大きくした際の避難範囲の変化

内閣府の設定密度 1 人/m²の場合より大幅に避難時間が短縮されることがわかる。

また、設定密度を 1.67 人/m²より大きくすることによって平均避難時間を小さくなることから、藤沢市の設定密度の目安 1.67 人/m²よりも大きな設定密度で津波避難を検討することによって、避難時間を短縮することが可能である。

(2) 平均避難時間の短縮

図 4.22 は、シミュレーションにおける設定密度ごとの平均避難時間を表したものである。平均避難時間は、すべてのメッシュの避難時間を足し合わせ、メッシュ数 668 で除して算出した。

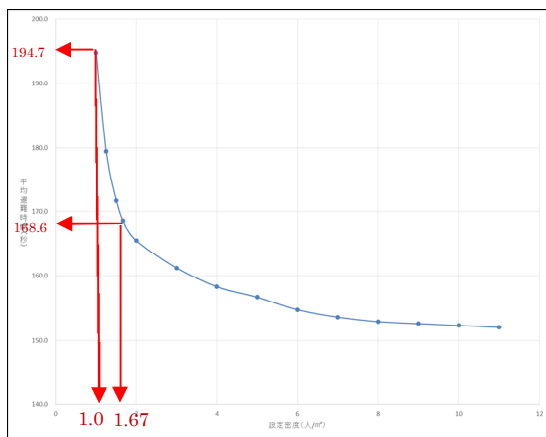


図 4.22 平均避難時間と設定密度の関係 (0 人/m²～11 人/m²)

内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン¹⁾」における設定密度の目安 1 人/m²の場合では、平均避難時間が 194.7 秒となり、藤沢市の設定密度の目安 1.67 人/m²の場合では、平均避難時間が 168.6 秒となる。また、設定密度 1 人/m²と設定密度 1.67 人/m²の平均避難時間の差は 26.1 秒であり、藤沢市の設定密度 1.67 人/m²の場合の方が、

(3) 設定密度縮小による避難環境改良

図 4.23 は、図 4.22 について設定密度をより大きい範囲で示したものである。

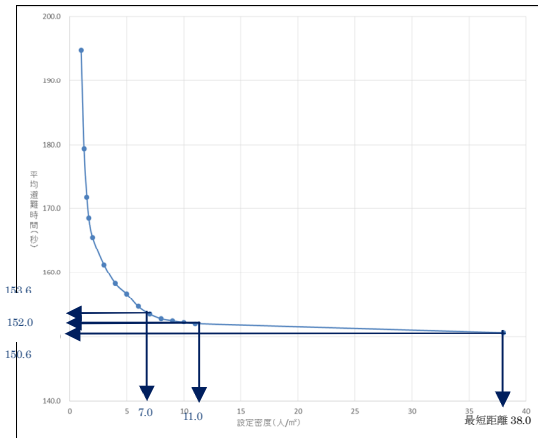


図 4.23 平均避難時間と設定密度の関係 (0 人/m²～38 人/m²)

最短距離での避難 (設定密度 38.0 人/m²) の場合は平均避難時間が 150.6 秒、雑踏事故が起こる可能性がある設定密度 11.0 人/m²の場合は平均避難時間が 152.0 秒、満員電車の入口付近 (人がやっと割り込める) の設定密度 7.0 人/m²の場合は平均避難時間が 153.6 秒となる。最短距離での避難の場合と設定密度 7.0 人/m²の場合の平均避難時間の差は 3.0 秒、また設定密度 11.0 人/m²と設定密度 7.0 人/m²の平均避難時間の差は 1.6 秒であり、大きな差が無いことから、

収容能力を超えた津波避難ビルの避難者を分配させ、ある程度まで群集密度を下げるような避難を促しても、避難時間に大きな変化がないことが示せた。

5. 藤沢市における津波避難ビル協定締結の状況

津波避難ビル指定をするためには、建物の所有者や住民の承諾を得て津波避難ビル協定を締結する必要がある。藤沢市における津波避難ビル協定の締結状況を把握するため、市に対するヒアリング調査を2013年12月に実施した。その結果は、以下のとおりである。

- ① 藤沢市は、津波浸水予想図における慶長地震の津波による浸水域にバッファゾーンを設けた範囲において津波避難ビル協定を締結するための交渉が行っている。また、津波避難ビル協定を締結する手順としては、対象建物の管理組合において津波避難ビル協定についての説明会を開き承諾を得た後、総会において居住者等の承諾を得て、協定を結ぶといった形で行われている。
- ② 津波避難ビル協定を締結する際の課題としては、緊急時の避難者の行動・態度や防犯の問題が懸念され承諾を得られないケースがある。
- ③ 藤沢市では津波避難ビル指定を普及させる新しい取り組みとして、津波避難施設補助要綱¹³⁾を策定し、民間の既存の3階建以上の建物に屋上フェンスや外付け階段を取り付けると避難

可能スペースとなり、そこに建物の住民が避難した場合でも50平米以上余るものであれば、費用の一部を助成する補助金制度を策定した。

6. 津波避難マップの作成

最後に、本研究で得られた知見を活かし、対象地区の津波避難マップを作成した。この中には、既往のハザードマップにはなかった津波避難所要時間、津波避難ビルごとの避難範囲、基本的な避難経路も示されている。また、津波防災に関する基本事項とともに、津波避難ビル居住者用の注意事項も盛り込んだ(図5.1、図5.2)。

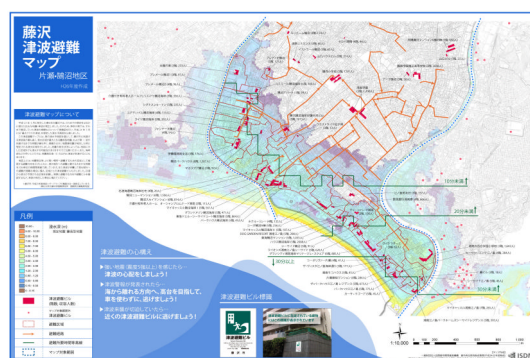


図 5.1 津波避難マップ (表面)



図 5.2 津波避難マップ (裏面)

7. まとめ

本研究では、藤沢市片瀬・鵜沼地区を対象として、津波避難計画策定に資するべく以下のことを行った。

第1章では、本研究の背景と課題を説明し、本研究の大筋を述べた。

第2章では、当該地区における津波避難事の経路選定が難しいことから、想定津波と避難時間等高線に基づく地形的な津波避難リスクを、想定浸水域外までの避難時間を用いて評価した。その結果、津波来襲時に浸水域外に到達するために30分程度かかる地点があることが明らかになった。また既存の津波避難施設を利用することにより、津波に巻き込まれるリスクが減ることがわかった。

地形的な津波避難リスク評価により避難が困難な地域では、津波避難ビルもしくは津波避難タワーなどの津波避難施設を利用する必要がある。そのため、第3章では、既存の津波避難指定ビルによる津波避難者収容能力を評価した。そのために、想定される津波避難者を、I. 地域住民のみ、II. オフシーズンの観光客を含めた場合、III. ハイシーズンの観光客を含めた場合の3つに、また収容能力をA. 既存の津波避難施設のみ、B. 収容可能施設の共用部分、C. 収容可能施設の共用部分と私有部分の3つに分類した。その結果、地域住民のみの避難ならば、既存の津波避難施設で収容可能であることが明らかになった。

第4章では、既存の津波避難施設を用いた場合の適切な避難計画を検討した。その

ために、ネットワークボロノイにより地区を分割し、避難密度による適正を評価した。その結果、適切な避難密度を5.0人/m²とすることができた。

第5章では、津波避難施設との協定について藤沢市に対してヒアリングを行い。近年の課題について明らかにした。

最後に第6章で、以上の成果を活かした対象地区の津波避難マップを作成した。この中には、既往のハザードマップにはなかった津波避難所要時間、津波避難ビルごとの避難範囲、基本的な避難経路も示されている。また、津波防災に関する基本事項とともに、津波避難ビル居住者用の注意事項も盛り込んだ。

参考文献

- 1) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン，2005.6.，
http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/tsunami_hinan.html (2012年9月19日閲覧)
- 2) 藤岡正樹，石橋健一，梶秀樹，塚越功：「マルチエージェント型避難モデルの特性評価」，地域安全学会論文集，No4，p.57-63，2002.11
- 3) 神奈川県：津波浸水予測図，
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/> (2012年9月19日閲覧)
- 4) 国土交通省：「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について，
http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000070.html (2012年9月19日閲覧)
- 5) 内閣府：南海トラフの巨大地震に関する

- る津波高，浸水域，被害想定の公表について，
- http://www.bousai.go.jp/nankaitroug_h_info.html（2012年9月19日閲覧）
- 6) 藤沢市：藤沢市洪水・津波ハザードマップ（避難地図）の概要，
<http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/page100035.shtml>（2012年9月19日閲覧）
 - 7) 神奈川県：津波浸水予測図，
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/>（2012年9月19日閲覧）
 - 8) 石田東生，谷口守，鈴木勉，古谷秀樹：交通手段の成立可能領域と有利地域に着目した交通政策の有効性の分析，運輸政策研究 Vol.2 No.1□14-25□1999
 - 9) 川崎拓郎，村尾修，諫川輝之，大野隆造：東日本大震災事前と事後における千葉県御宿町住民の津波避難経路の比較分析，日本地震工学会論文集，第12巻，第4号（特集号），p263-277，2012
 - 10) 総務省統計局：平成22年国勢調査 町丁字別集計，
<http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/content/000371750>
 - 11) 藤沢市：観光客数統計表
<http://www.fujisawakanko.jp/stat/kankou.pdf>
 - 12) 貝辻正利，北後明彦：雑踏事故に至る高密度群集滞留下での群集波動現象に関する研究 —大規模イベント事例分析を通じて—，地域安全学会論文集 No.17，2012
 - 13) 藤沢市：藤沢市津波避難施設整備事業費補助金交付要綱