

# 南海トラフ地震における津波避難行動のシミュレーション

1190495 田島知治

高知工科大学 経済・マネジメント学群

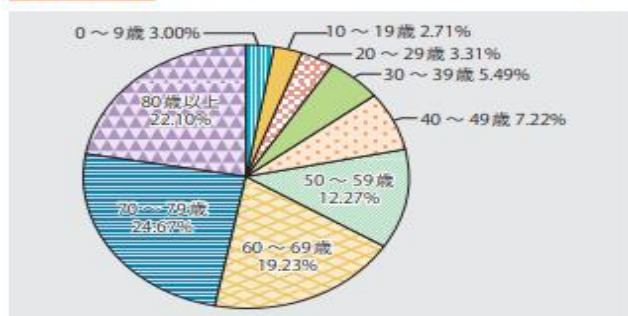
## 第1章 はじめに

### 1-1 概要

南海トラフを震源とする南海地震は、概ね100~150年の周期で発生しており、現在、昭和21年(1946年)に発生した昭和南海地震から73年が経過している(高知県,2016)。南海トラフ地震の発生確率は、今後30年以内で70~80%程度と予測されており今世紀前半での発生が懸念されている(文部科学省,2018)。南海トラフ地震が発生した場合に発生後20年間に及ぶ経済被害想定額は1410兆円(土木学会,2018)、想定死者数(最大)は32万3,000人と想定されている(内閣府,2012)。一方、東日本大震災での経済被害額は16.9兆円(内閣府,2011)、死者・行方不明者は合計2万3,769人であった(内閣府,2011)。これらのことから、南海トラフ地震は経済被害・人的被害ともに東日本大震災を遥かに上回ると予測されている。内閣府(2011)によると、東日本大震災における死因の92.4%が津波によるものであったが、高知県も南海トラフ地震によって甚大な津波の被害が予測されており、これに対する対策は喫緊の課題となっている(高知県,2016)。

図1は東日本大震災における死亡者の年齢別内訳を示している。これをみると、年齢が判明している死亡者の約65%が60歳以上である(図1)。津波からの避難実態調査を実施した国土交通省(2012)によれば、徒歩での平均避難速度は、時速2.65kmであったのに対し、70歳以上の高齢者や障がい者の平均避難速度は時速1.88kmと低い速度であった。つまり、高齢による歩行速度の低下が避難時間に影響を与えていることが考えられる。

図3.2-2 東日本大震災による死亡者の年齢別の分布<sup>2)</sup>



(図1) ※出典：総務省(2012)

「東日本大震災における死亡者の年齢別の分布」

また、高知県は全国に10年先行して高齢化率が急激に上昇しており、平成32年に35.5%、平成42年には37.9%になると推定されている(高知県,2018)。

これらを踏まえ本研究では、高齢による歩行速度の低下と高知県が抱える高齢化が南海トラフ地震における人的被害にどのような影響を与えるのかを明らかにするとともに、人的被害を最小限に抑えるための施策を検討する。

東日本大震災における津波避難実態調査と南海トラフ地震の被害想定を中心に研究を進めていく中で、「建物倒壊による避難路閉塞や高齢化による歩行速度の低下などの要因を加味した上での津波避難行動のシミュレーションを実施し、高知県が掲げる南海トラフ地震対策の頑強性、妥当性、網羅性を検証し、内在する問題を明らかにする必要があるのではないか」との研究課題を持つに至った。また、この研究課題に基づいて導出された仮説は、本研究のシミュレーション分析によって実証された。シミュレーション分析の結果、高齢による歩行速度の低下が死亡率の上昇に起因するというよりもむしろ、建物倒壊による避難路閉塞が死亡率の上昇に大きく起因すると結論づけられた。この結果を受け本研究では、建物倒壊による避難路閉塞を考慮した防災マップを策定し、被災時に通行可能な避難路を利用した避難訓練を実施する、という改善策を提案したい。これにより、住民が日ごろから被災時でも通行可能な避難路を認識できることや、より実効性のある避難訓練を実施することが可能となり、被災時には、迅速な避難行動や正確な状況判断につながるものと考えられる。

### 1-2 目的

本研究では、高知県が掲げる南海トラフ地震対策について検討し、東日本大震災における津波避難実態調査と南海トラフ地震の被害想定に基づき津波避難シミュレーションを実施し、当該地震対策の頑強性、網羅性、妥当性を検討するとともに、潜在的な問題を明らかにすることを目的とする。

## 第2章 背景

### 2-1 津波到達時間

気象庁(2012)は、東日本大震災において死者・行方不明者が5,800人という甚大な被害を受けた岩手県の最大津波高(8.5m)が

地震発生から 25 分後に到達していたことを報告している。これに対し、南海トラフ地震では海岸線 1m の高さの津波到達時間の平均は 8.8 分であると推測している(高知県,2017)。つまり、津波到達時間が短いことから、避難時間に制約がかかり、津波到達時までには避難を完了させることが難しいと考えられる。

## 2-2 高知県沿岸部の住宅の特徴

高知県西部に位置する中土佐町を例に挙げると、同町沿岸部には漁業集落特有の住宅が密接し、幅員の狭い道路から住宅地が形成されている。また、同町は新耐震基準に満たない木造の住宅が密集し、かつ、高いブロック塀や空き家が点在しており、避難経路の妨げとなることが指摘されている(国土交通省,2016)。東日本大震災において、甚大な被害を受けた木造建物は建設年代が比較的古く、老朽化していたことから(総務省,2012)、中土佐町でも木造建物の倒壊による避難路閉塞が懸念される。また、避難路閉塞による通行障害は消防車両の活動範囲や消防隊員の行動範囲を制限し、迅速な消防活動に多大な影響を与え、避難行動に支障をきたし、特に被害が大きい地域では避難路が完全に閉塞する場合もある(久貝ら,1999)。以上から、津波地震が発生した場合には、避難路の閉塞や家屋の倒壊被害が甚大となり、ハザードマップ通りの避難が困難になると考えられる。その結果、避難時間に多大な時間を要し、津波到達までに避難が完了することができない可能性が高い。

## 2-3 高齢化

高知県は全国に 10 年先行して高齢化率が急激に上昇しており、平成 32 年に 35.5%、平成 42 年には 37.9%になると推定されている(高知県,2018)。ここで、東日本大震災における死者の年齢別内訳をみると、年齢が判明している死者の約 65%が 60 歳以上だった(総務省,2012)。このことから、南海トラフ地震の発生が長くなるほど、死亡率が上昇することが考えられる。

## 第 3 章 問題提起

### 3-1 建物倒壊による避難路閉塞が避難行動にもたらす問題点

東日本大震災においては、津波による被害により、ほとんどの建物が流れ基礎部分しか残らなかった(総務省,2012)。このことから震災時、津波襲来地域において建物倒壊による避難路閉塞が被災者の避難時間や避難行動にどのような影響を与えたのかという検証をした研究は十分に行われていない。しかし、震災時における建物倒壊による避難路閉塞は、避難、救急救命、消防活動に

影響を与える重要な問題である(寺木ら,2006)。避難路閉塞が発生する要因として、前田ら(2011)は、耐震性の低い木造建物による建物倒壊と道路幅員の狭さを挙げている。また、佐藤ら(2002)は、津波数値シミュレーションを用いて防波堤の効果を分析し、地震による建物倒壊によって、避難速度が低下することや、避難路の迂回により、別の最寄りの避難所に避難することで避難距離が長くなり津波到達時間までに避難を完了させることができない場合があることを指摘している。

### 3-2 高齢による歩行速度の低下が避難時間にもたらす問題点

2011 年に発生した東日本大震災は、地震、津波に加え、原子力事故や停電、サプライチェーン(部品調達から製品納入までのモノの流れ)の大規模な中断が発生し、前例のない巨大かつ複合的な災害となった(世界銀行,2012)。東日本大震災後、これまでの地震・津波対策を見直すべく、防災基本計画や、災害対策基本法の修正が行われた(内閣府,2012)。また、法律の改訂、修正や地方公共団体の取組の強化のみならず、災害時における津波避難行動の想定見直しも行われた。例えば、国土交通省(2012)は東日本大震災発生前の徒歩での避難速度の目安を時速 3.6km と想定していたが、東日本大震災における津波からの避難実態調査を踏まえ、想定避難速度を従来の時速 3.65km から、平均歩行速度である時速 2.65km と実態に即した見直しを行った。また、歩行困難な高齢者や障がい者の避難速度は時速 1.88km と低い速度になることが指摘された(国土交通省,2012)。避難距離については、リアス部と平野部で多少のばらつきがみられるものの、平均避難距離は 434m となっている(国土交通省,2012)。ここで、上記 2 つの属性の避難時間を計算してみると、平均歩行速度で歩く人(10 歳以上 70 歳未満の人)の避難時間は約 10 分となり、70 歳以上の高齢者や障がい者の人避難時間は約 14 分となる。以上から、70 歳以上の高齢者や障がいがある人と平均避難速度で避難する(10 歳以上 70 歳未満)人の避難時間の差が 4 分であることがわかる。この避難時間の差が東日本大震災における死者の約 65%が 60 歳以上である(図 1 参照)という死者の年齢別の分布に表れているのではないだろうか。

### 3-3 仮説

これまでの議論から以下の仮説が導出される。

実証仮説

「建物倒壊による避難路閉塞や高齢化による歩行速度の低下が死亡率を高める要因となる。」

### 3-4 研究方法

#### 3-4-1 研究の流れ

本研究では、高知県中土佐町久礼地区を津波避難シミュレーション対象地区に選定した。はじめに、1056 棟の現地建物調査を実施した。次に、それらすべての建物について VBA を用いて倒壊被害シミュレーションを実施した。建物倒壊による避難路閉塞を表現するため、避難路閉塞モデルを用いて避難路閉塞判定を行った。最後にエージェント手法を用いた津波避難行動シミュレーションを 3 つの地区(A 地区：240 世帯、B 地区：129 世帯、C 地区：152 世帯)で実施した。また、高齢化が人的被害にどのような影響を与えるのかを分析するため、国立社会保障・人口問題研究所(2018)が公表している中土佐町の推定人口の推移を参考に、2015 年、2020 年、2025 年、2030 年、2035 年、2040 年、2045 年それぞれについて津波避難シミュレーションを実施し分析を行った。

#### 3-4-2 研究対象地域の概要

研究対象地域は高知県中土佐町久礼地区に選定した。久礼地区の人口は 4690 人であり(2015 年時点)、総人口の約 5 割が漁港周辺の発達した住宅地に住んでいる(中土佐町,2016)。選定理由としては、漁業集落特有の住宅が密接し、昭和 56 年以前の旧耐震基準の木造住宅や狭幅員の道路が多いため、地震が発生した場合、家屋の倒壊被害やブロック塀の倒壊により、避難路閉塞の可能性が高い(国土交通省,2016)といった地域特性が挙げられる。この地域は、南海トラフ地震が発生した場合の予想最大震度は 7 であり、町域の大部分で震度 6 強の揺れが想定されている。また、地震発生後、最短 20 分津波が到達すると予測されており、その津波の予測高は 10~15m と想定されている。被害想定は、死亡者数は 2,400 人(総人口の 29%)、負傷者数は 810 人(総人口の 10%)、建物被害は 4,070 棟(建物総数の 57%)の被害が生じる可能性が示されている(国土交通省,2016)。



(図 2) 研究対象地域(中土佐町ホームページ、国土地理院 基盤地

図情報サイトより筆者作成)

#### 3-4-3 現地建物調査

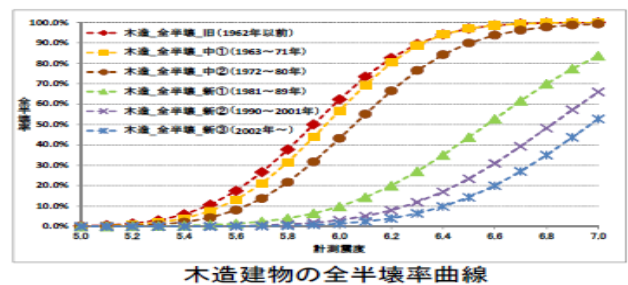
建物調査は久礼地区内の 1056 棟の建物(倉庫、車庫を含む)について現地調査を実施した。これらの建物を木造、非木造(旧耐震非木造または新耐震非木造)、属性不明の 4 種類に目視による分類を行い、建物それぞれについて倒壊可能性を◎(20%未満)、○(20~40%)、△(40~80%)、×(80%以上)の 4 段階で評価した。また、避難路閉塞を表現するため、統計 GIS(e-stat)を用いて 1056 棟すべての建物の高さの測定に加えて、319 のリンクについて道路幅員を測定した。中土佐町(2016)によると、当該地域は高齢化が進んでおり空き家の問題も深刻なため、居住の有無も調査した。

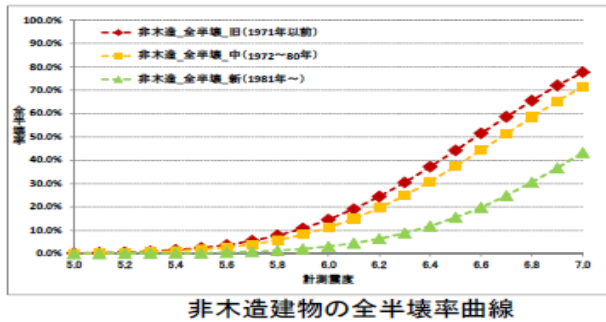
調査の結果は、木造建物 486 棟、旧耐震非木造 140 棟、新耐震非木造 255 棟、属性不明 175 棟だった。また、車庫 72 棟、倉庫 28 棟、空き家 203 棟という結果であった。

現地調査後の考察は以下のとおりである。久礼地区の住宅の特徴として、沿岸部の地域(例えば港町東、港町西、天神町など)は道路幅員が狭く、木造家屋が密集しており、更にはブロック塀が多数みられたため、震災時において建物倒壊によって避難路が閉塞することが考えられる。

#### 3-4-4 建物倒壊判定

建物倒壊判定については、兵庫県南部地震における西宮市のデータ、2000 年の鳥取県西部地震における鳥取市のデータ、2001 年の芸予地震における呉市のデータから作成された家屋形式(木造、非木造)と、家屋の耐震に関わる法律の施行年に基づいた築年数区分(旧築年：昭和 36 年以前、中築年：昭和 37 年~昭和 56 年、新築年：昭和 57 年以降)別の全半壊率曲線を利用することとした(図 3 参照)。この全半壊率曲線を使った建物倒壊シミュレーションは、内閣府(2012)、高知県(2013)、桑沢ら(2008)の研究で用いられている。また、現地建物調査で属性不明と判断した建物については、伊藤ら(2015)の建物被害率を参考にした。





(図3) ※出典：高知県(2013), 「建物の全半壊率曲線(木造、非木造)」

本研究では、調査した1056棟の倒壊判定をExcelのVBAを用いてシミュレーションを実施した。VBAは、Visual Basic for Applicationsの略で、MicrosoftがMS Officeの拡張機能として提供しているプログラミング言語のことである(発注ナビ, 2017)。シミュレーション対象地域である久礼地区では南海トラフ地震発生時、震度6強の地震が想定されているため、建物倒壊シミュレーションでは、前述の建物全壊率を利用した倒壊確率を用いて、震度6強の地震を想定した。具体的には、倒壊するか否かのシミュレーションを1棟につき500回試行し、250回以上「倒壊」判定ができれば、シミュレーション結果を「倒壊」と判断した。図4はシミュレーション画面のコードである。

```

Sub 倒壊判定()
Dim i
Dim j
Dim s As String
ws = "Sheet34"
T = 2 To 501 Step 1
For j = 2 To 501 Step 1
i = 2
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i - 1, j).Address) = j - 1 & "回目"
Do Until Cells(i, j) = ""
If Cells(i, 4) = "○" Then
If Rnd() <= 0.75 Then
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "木造_倒壊"
Else
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "木造_セーフ"
End If
Elseif Cells(i, 5) = "○" Then
If Cells(i, 8) = "×" Or Cells(i, 8) = "○" Then
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "旧非木造_倒壊"
Else
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "旧非木造_セーフ"
End If
Elseif Cells(i, 6) = "○" Or Cells(i, 8) = "○" Then
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "新非木造_倒壊"
Else
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "新非木造_セーフ"
End If
Elseif Cells(i, 6) = "○" Then
If Rnd() <= 0.75 Then
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "属性不明_倒壊"
Else
Workbooks("Book1.xlsx").Worksheets(ws).Range(Cells(i, j).Address) = "属性不明_セーフ"
End If
End If
i = i + 1
Loop
Next j
End Sub

```

(図4) 建物倒壊シミュレーション(VBAコード画面)

### 3-4-4-1 建物倒壊シミュレーション結果

上述の建物倒壊判定を現地調査した1056棟に実施したところ、658棟が「倒壊」と判定された(倒壊率60.1%)。このことから、建物倒壊による死者の発生や、避難路が閉塞する可能性が懸念される。

### 3-4-5 建物倒壊により発生する瓦礫の表現

建物倒壊による発生する瓦礫の範囲は、建物の高さや構造、隣接建物、そして地震による地表面の加速度ベクトルなど、様々な要因によって規定されている(桑沢ら, 2008)。家田ら(1998)は、道路上の最大瓦礫幅を建物の全壊率、階数、老朽建築率から予測したモデルを作成した。しかし、対象地域のすべての建物についてこれらの情報を収集することは困難であったため、桑沢ら(2008)の瓦礫幅算出モデルを参考に瓦礫幅を求めた。当該モデルは以下のとおりである。

$$W = \alpha \cdot H \quad (1)$$

ここで、W：瓦礫幅、H：建物の高さ、 $\alpha$ ：瓦礫幅の算出係数(0.58)である。

(1)を用いて、統計GISより測定した建物の高さから瓦礫幅を算出した。

### 3-4-5 避難路閉塞の判定

本研究では、統計GISより測定した建物の高さから瓦礫幅を推定し、その幅を持つ瓦礫が道路に広がる状況を想定した。(1)式から導出された瓦礫幅が統計GISで測定した道路幅員よりも大きい場合、その避難路は閉塞と判定した。

#### 3-4-5-1 避難路閉塞シミュレーション判定結果

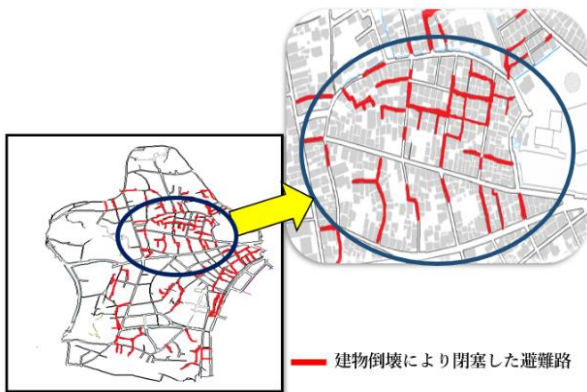
図5は、シミュレーション対象地区の避難路閉塞を表現したものである。図中の赤線は、上述の閉塞判定により、「閉塞する」と判定された避難路である。調査した319のリンクのうち、「閉塞する」と判定されたリンク数は167であり、当該地区の避難路閉塞率は52.4%となった。このことから、震災時には多くの場合避難路を迂回する必要があることや、場合によっては袋小路になる場所が発生することが懸念される。



(図5) シミュレーションにより「閉塞する」と判定された避難路(赤線部分)

(国土地理院 基盤地図情報サイトより筆者作成)

また、図6は図5の一部を拡大したものである。拡大した図を見ると、閉塞した避難路に囲まれている住宅が多数存在することを確認できる。これは閉塞した避難路により、住民が袋小路に直面する危険性を示している。つまり、当該地域に居住している住民は、倒壊した建物の瓦礫の上を乗り越えなければ、避難できないということを意味する。このことから、震災後の避難には、「目の前に立ち塞がる瓦礫を乗り越えなければ避難することができない」という新たな問題点が内在することが判明した。



(図6) 建物倒壊による閉塞した避難路(拡大図)  
(国土地理院 基盤地図情報サイトより筆者作成)

### 3-4-7 津波避難シミュレーションの設定概要

#### 3-4-7-1 シミュレーション対象地区

本研究では、「建物倒壊による避難路閉塞や高齢化による歩行速度の低下が死亡率を高める要因となる」という仮説に基づいて津波避難シミュレーションを行う。シミュレーション結果の蓋然性を担保するため、3つの地域(A地区：240世帯、B地区：129世帯、C地区：152世帯)の津波避難シミュレーションを実施した。一例として、A地区のシミュレーションのイメージ図を以下に示す。



(図7) A地区における津波避難シミュレーションのイメージ図  
(国土地理院 基盤地図情報サイトより筆者作成)

#### 3-4-7-2 エージェントについて

本研究では、高齢化による歩行速度の低下が死亡率を高める要因となると仮定していることから、避難速度の違いに基づきエージェントの属性を2種類に分類した。この2種類のエージェント数は中土佐町における将来の高齢化率に合致するように算出している(国立社会保障・人口問題研究所,2018)。エージェントの避難速度についての詳細は3-4-7-4に記す。

#### 3-4-7-3 位置情報

昼間を想定し、初期位置は建物の玄関とした。シミュレーション対象地区の建物1棟につき、1人をランダムに配置した。本研究では、津波避難行動に焦点を当てているため、エージェント自身に建物倒壊による被害はないものとした。

#### 3-4-7-4 避難速度

国土交通省(2012)を参考に、10歳以上70歳未満の人の平均避難速度を時速2.65km、10歳未満や70歳以上の人は時速1.88kmとなるように設定した。

#### 3-4-7-5 エージェントの避難行動について

エージェントは避難場所まで最短距離で移動するが、瓦礫は乗り越えないとする。ただし、瓦礫により避難路が閉塞している場合には、他の通行可能な避難路を最短距離で移動する。また、袋小路に直面した場合には瓦礫を乗り越えず、それ以上移動できないものとする。

#### 3-4-7-6 避難手段

本研究では、車は使用せず、徒歩による移動を想定した。

#### 3-4-7-7 避難開始までにかかる時間

伊藤ら(2015)を参考に、地震に揺れにより動作ができない時間を3分、避難準備にかかる時間を2分と仮定し、合計5分となるように設定した。

#### 3-4-7-8 避難場所

避難場所は広域避難場所である久礼小学校とした(中土佐町,2016)。

#### 3-4-7-10 津波到達時間

高知県防災マップ(高知県,2014)を参考に、20分とした。

## 第4章 結果

### 4-1 避難路閉塞を考慮したシミュレーション結果

A地区(240人)	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年
生存者数(人)	111	107	102	99	99	99	93
死亡者数(人)	129	133	138	141	141	141	147
死亡率(%)	53.8	55.4	57.5	58.8	58.8	58.8	61.3
袋小路による死亡者数(人)	80	80	80	80	80	80	80
逃げ遅れによる死亡者数(人)	49	53	58	61	61	61	67

表1 A地区における避難路閉塞を考慮したシミュレーション結果

B地区(129人)	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年
生存者数(人)	20	23	20	20	21	21	21
死亡者数(人)	109	106	109	109	108	108	108
死亡率(%)	84.5	82.2	84.5	84.5	83.7	83.7	83.7
袋小路による死亡者数(人)	56	56	56	56	56	56	56
逃げ遅れによる死亡者数(人)	53	50	53	53	52	52	52

表2 B地区における避難路閉塞を考慮したシミュレーション結果

C地区(152人)	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年
生存者数(人)	69	66	66	68	67	62	67
死亡者数(人)	83	86	86	84	85	90	85
死亡率(%)	54.6	56.6	56.6	55.3	55.9	59.2	55.9
袋小路による死亡者数(人)	47	47	47	47	47	47	47
逃げ遅れによる死亡者数(人)	36	39	39	37	38	43	38

表3 A、B、C地区における避難路閉塞を考慮したシミュレーション結果（筆者作成）

特に表2のB地区、表3のC地区を見ると、高齢化による避難速度の低下が死亡率を高める要因とは言い切れない。一方、特に表1のA地区を見ると、建物倒壊による避難路閉塞が死亡率を高める要因となることがわかる。つまり、避難路が袋小路になることや、避難路を迂回したりすることで津波到達時間までに避難をすることができない場合があると考えられる。シミュレーション地区別の死亡率(2015年)は、A地区では53.8%、B地区では84.5%、C地区では54.6%と非常に高い数値になっている。この

うち、特筆すべき点として、袋小路による死亡が挙げられる。袋小路による死亡率(2015年)をみると、A地区では62%、B地区では51%、C地区では57%とそれぞれ高い数値になっている。これは震災時、住民が避難する意思を持っていても、目の前に立ちはだかる瓦礫が避難に歯止めをかける危険性を示している。このことから、震災時に確実に避難することができる避難路の確保が喫緊の課題になると考えられる。

### 4-2 避難路閉塞を考慮しない場合との比較

4-1では、避難路閉塞を考慮した避難行動に着目して分析を行った。その結果、建物倒壊による避難路閉塞が死亡率を高める要因となると結論付け、建物の耐震化をより一層促進させることが喫緊の課題だとわかった。ここで、高知県(2017)が目指している住宅の耐震化が100%になった場合、死亡者数はどのくらい軽減するのかを検証した。本項では、建物の耐震化100%を仮定するため、避難路は閉塞せず、エージェントは最短距離の避難路を通行し、避難場所である久礼小学校まで移動するとした。

#### 4-2-1 4-2の検証結果

A地区：240人、2015年	避難路閉塞を考慮しない場合	避難路閉塞を考慮した場合
避難完了者数(人)	221	111
死亡者数(人)	19	129
死亡率(%)	7.9%	53.8%
避難閉塞(袋小路)による死亡者数(人)	0	80
逃げ遅れによる死亡者数(人)	19	49

表4 避難路閉塞を考慮しない場合と考慮した場合の死亡者数の差(A地区)（筆者作成）

B地区：129人、2015年版	避難路閉塞を考慮しない場合	避難路閉塞を考慮した場合
避難完了者数(人)	118	20
死亡者数(人)	11	109
死亡率(%)	8.5%	84.5%
避難閉塞(袋小路)による死亡者数(人)	0	56
逃げ遅れによる死亡者数(人)	11	53

表5 避難路閉塞を考慮しない場合と考慮した場合の死亡者数の

差(B地区) (筆者作成)

C地区：152人、2015年版	避難路閉塞を考慮しない場合	避難路閉塞を考慮した場合
避難完了者数(人)	139	69
死亡者数(人)	13	83
死亡率(%)	8.6%	54.6%
道路閉塞(袋小路)による死亡者数(人)	0	47
逃げ遅れによる死亡者数(人)	13	36

表6 避難路閉塞を考慮しない場合と考慮した場合の死亡者数の差(C地区) (筆者作成)

表4、5、6をみると、A地区、B地区、C地区ともに避難路閉塞を考慮しない場合、死亡者数が大幅に激減することがわかる。しかしながら、避難路閉塞を考慮しないとしても、それぞれの地区で一定数の死亡者が発生していることがわかる。これらの地区の対策としては、徒歩以外の避難手段を検討することが挙げられる。

### 4-3 避難準備時間が死亡率に与える影響

本研究では、避難開始までにかかる時間を5分と設定した。しかし、吉井(2011)は、東日本大震災における避難行動に関する調査結果を分析し、これからの避難対策の強化を加味した上でも、平均して12分は避難準備時間を要するとしている。そこで本項では、避難路閉塞を考慮した場合と閉塞しない場合で場合分けをした上で、避難準備時間を5分から12分まで1分ずつ変化させたときのシミュレーションを実施した。また本項では、2015年の高齢化率を用いた。

#### 4-3-2 4-3の検証結果

・避難路閉塞を考慮した場合

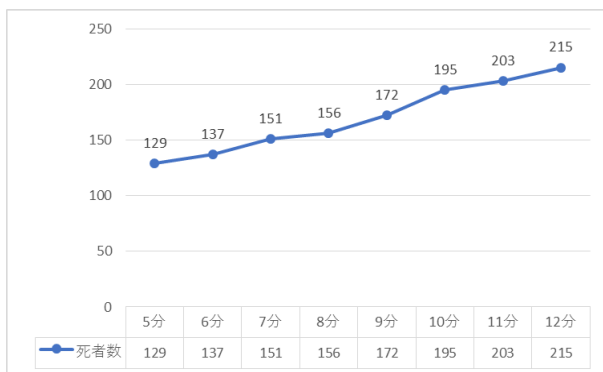


図10 A地区における避難準備時間を变化させたときの死亡者数の推移 (筆者作成)

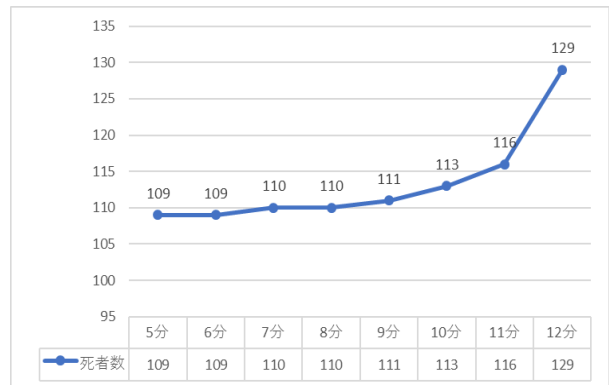


図11 B地区における避難準備時間を变化させたときの死亡者数の推移 (筆者作成)

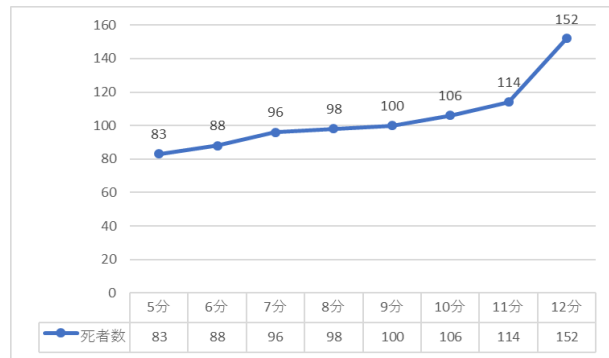


図12 C地区における避難準備時間を变化させたときの死亡者数の推移 (筆者作成)

図10、11、12をみると、避難路閉塞を考慮した場合は死亡者数の絶対数が多いために、避難時間を1分ずつ変化させたときの死亡者数の急激な上昇(11分~12分)はB地区、C地区のみ認められた。また、死亡者数の推移はA地区、B地区、C地区ともに全体的に緩やかな増加傾向が認められた。

・避難路閉塞を考慮しない場合

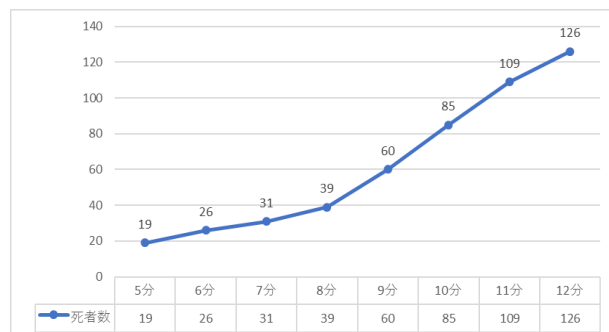


図 13 A 地区における避難準備時間を変化させたときの死亡者数の推移（筆者作成）

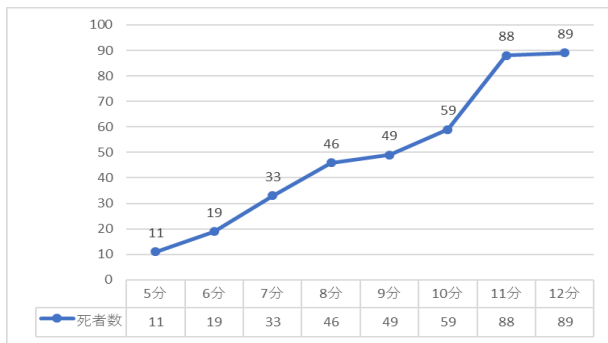


図 14 B 地区における避難準備時間を変化させたときの死亡者数の推移（筆者作成）

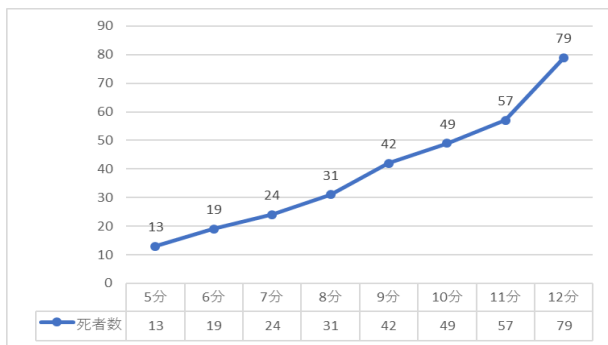


図 15 C 地区における避難準備時間を変化させたときの死亡者数の推移（筆者作成）

図 13、14、15 をみると、避難路閉塞を考慮した場合と比べて避難路閉塞を考慮しない場合は、傾斜の大きい右上がりの曲線になっていることがわかる。避難開始までかかる時間を 5 分の場合と 12 分の場合で比べると、A 地区では死亡者数が 6.6 倍に、B 地区では 8.1 倍に、C 地区では 6.1 倍と急上昇している。

これらの図から、1 分でも迅速な避難を意識することで死亡率が低下することが期待される。日ごろからできる対策としては、防災かばんあらかじめ 7 日間の水、食料品を入れた状態で決められた場所に保管しておくことや、突っ張り棒で家具を固定させることで家具の転倒を防止し、被災時に迅速な行動ができると考えられる。

## 第 5 章 まとめ

### 5-1 考察

本研究の結果から、高齢化による歩行速度の低下は死亡率を高める要因とは言えない。一方、建物倒壊による避難路閉塞が死亡

率に大きく起因することがわかった。このことから、建物倒壊による避難路閉塞は、避難行動を制限する、あるいは避難時間に多大な時間を発生させる可能性があり、したがって避難行動にとって大きな弊害になる。また、避難準備時間を 5 分の場合と 12 分の場合で比べると、A 地区では死亡者数が 8.1 倍にも急上昇することが判明した。このことから、1 分でも迅速な避難を意識することで死亡率が低下することが期待される。

これらの議論から、震災時に建物倒壊による人的被害を軽減するため、更には避難路を確保するためにも建物の耐震化をより一層促進することが喫緊の課題である。しかしながら、実際には建物の耐震化が十分に進んでいない地域も存在する。例えば、シミュレーションを実施した中土佐町を例に挙げると、幅員が狭い道路(図 8 参照)から形成されている住宅街が数多く存在する(中土佐町,2016)。このことから、一つの建物に耐震工事を実施しても、隣接建物の倒壊による複合被害が懸念される。上記のような理由により、避難路を確保するためには、近隣住民が協力し、集団的に耐震工事を進める必要がある。一方、個人宅が耐震化しても隣接建物が耐震化していなければ、震災時に自身の建物に複合被害の可能性がある。結果として、耐震化には多額の費用がかかるという問題もあるため、地域全体として耐震化が進まないといった問題が生じている可能性がある。また、現地調査を通じて得た考察として空き家が地域に点在していることが挙げられる。1056 棟の建物を調査したうちの、203 棟が空き家であった(図 9 参照)。空き家の特徴として、新耐震基準に満たない木造家屋が多く、建物倒壊による避難路閉塞が懸念される。木造家屋高齢化が進んでいる中土佐町では、今後空き家は増加する傾向があると考えられ(中土佐町,2017)、空き家の撤去対策を講じる必要があると考える。

これらの議論を踏まえ、建物倒壊による避難路閉塞を考慮した防災マップを策定し、被災時に通行可能な避難路を利用した避難訓練の実施する、という対策を講じる必要がある。これにより、住民が日ごろから被災時でも通行可能な避難路を認識できることや、より実効性のある避難訓練を実施することが可能となり、被災時には、迅速な避難行動や正確な状況判断につながると考えられる。





図8 幅員の狭い道路(中土佐町久礼地区)  
(画像：中土佐町久礼地区 筆者撮影)



図9 空き家と思われる住宅 (中土佐町久礼地区)  
(画像：中土佐町久礼地区 筆者撮影)

## 5-2 過大要因、過小要因

これまでの議論を通じて、避難路閉塞を考慮したより実態に近い避難行動を分析することが可能になった一方で、本研究におけるシミュレーション推定結果には過大・過小評価をもたらす要因が含まれている。今後の課題として以下に具体例を列挙する。

まず、過大要因として、

- ・瓦礫を乗り越える避難を考慮していない。

→実際には、瓦礫を乗り越える避難も想定可能である。更には、瓦礫を乗り越える際の避難速度の減速も考慮する必要がある。

- ・瓦礫の発生方向、範囲を明確に仮定していない。

→瓦礫幅の発生範囲を建物の高さ×0.58で算出したが(3-4-5参照)、概ね瓦礫発生範囲に過大評価をもたらすと考えられ、瓦礫流出方向や発生範囲などを加味した瓦礫流出モデルの開発が必要となる。

- ・エージェントをそれぞれの建物に1人ずつ配置したため、家族構成などを考慮していない。

→本研究では、エージェントが単独で避難すると仮定したが、実

際の震災時には家族や近隣住民と一緒に避難する場合もあるため(国土交通省,2012)、例えば、平均世帯を想定したシミュレーションを実施する必要も考えられる。

上記のような過大要因などが挙げられる。

次に、過小要因として、

- ・エージェントは最短距離で移動すると仮定したため、避難時間を少なく見積もっている可能性がある。

→エージェントは、閉塞している避難路を事前に知っており、避難路閉塞を考慮した最短距離を迂回する避難行動を仮定した。しかし、震災時にはどの避難路が閉塞しているかわからないため、シミュレーションで算出した避難時間よりも長い避難時間が想定される。その結果、実際には今回のシミュレーションにおける死亡者数以上の被害が想定される。

- ・建物以外(ブロック塀、電柱など)の倒壊を考慮していない。

→2018年6月18日に発生した大阪北部地震では、ブロック塀の倒壊により死亡者が発生した(国立研究開発法人建築研究所,2018)。中土佐町でも、ブロック塀が数多く点在し、避難路を閉塞させる要因となり得るため(中土佐町,2015)、ブロック塀の倒壊を想定したシミュレーションを実施する必要がある。

- ・建物倒壊による死亡者数や火災による死亡者数を考慮していない。

→本研究では、津波避難行動に焦点を当てたため、建物倒壊による死亡者数や火災による死亡者数を考慮しなかった。しかしながら、阪神淡路大震災における死因の77%は建物倒壊による圧死・窒息死であり、9%が火災による焼死であった(国土交通省,2002)。このことから、南海トラフ地震の被害を網羅的に対策するには、津波対策のみならず、建物の倒壊対策、火災対策等、複合的な対策が求められる。

## 5-3 結論と今後の課題

本研究では、高齢化による歩行速度の低下と建物倒壊による避難路閉塞が死亡率を高める要因となると考え研究を進めたが、高齢化による歩行速度の低下は死亡率を高める要因とは言えなかった。一方、建物倒壊による避難路閉塞は死亡率を高める要因となった。建物倒壊による避難路閉塞は、被災者の避難時間を長くすることのみならず、袋小路の発生により住民の避難に歯止めをかける可能性があることがわかった。このことにより、住宅の耐震化をより一層促進させる必要性を再考することができた。また、

本研究では、震災時に通行可能な避難路は限定されると考え、避難路閉塞を考慮した防災マップの策定を検討した。これにより、より実効性のある避難訓練を実施することが可能となり、被災時には、迅速な避難行動や正確な状況判断につながると考えられる。しかしながら被災時に、「通行可能である」と判断された避難路がもし閉塞していた場合、被災者に大きな混乱を招く可能性がある。このことから、避難路閉塞を考慮した防災マップの策定も不確実性という点において、顕在化していないリスクが含まれていることを念頭に置いておく必要がある。また、避難準備時間が長くなるほど、死亡率が上昇することが判明した。このことから、1分でも迅速な避難を意識することで死亡率の低下が期待される。

また、本研究のシミュレーション結果には以下のような要因が考慮されていない。

- ・ブロック塀や建物倒壊による死者数
- ・火災による死者数
- ・急傾斜地崩壊による死者数
- ・屋外落下物による死者数

実際の震災時には上記のような被害も想定されるため、本シミュレーションの結果以上の死者数が発生することが考えられる。

最後に、本研究で明らかになった建物の倒壊率や避難路閉塞率などの数値を直視し、対策を講じなければ、本研究のシミュレーション結果が示した以上の甚大な人的被害が想定されることを忘れてはならない。これらを踏まえた今後の課題として、建物の耐震化の重要性を行政・住民がともに再認識し、より実効性のある避難訓練を実施し、日ごろから南海トラフ地震に備えることが重要である。

## 第7章 参考文献・引用

- ・高知県(2017),「南海トラフ地震対策行動計画(第3期平成28年度~平成30年度)」  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2017032300266/file\\_H29nankaijisintaisakukoudoukeikaku1.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2017032300266/file_H29nankaijisintaisakukoudoukeikaku1.pdf)
- ・文部科学省地震調査研究推進本部(2018),「長期評価による地震発生確率値の更新について」  
[https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long\\_term\\_evaluation/updates/prob2018.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long_term_evaluation/updates/prob2018.pdf)
- ・土木学会(2018),「南海トラフ被害、20年間で最悪1410兆円」, 日本経済新聞電子版

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO31479100X00C18A6M0000/>

(最終閲覧日 2018年8月29日)

- ・内閣府南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012), 「南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)」  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829higai.pdf>
- ・内閣府(2011), 「東日本大震災における被害額の推計」  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/honbun/4b8s1400.htm>
- ・内閣府(2011), 「東日本大震災における都道府県別人的被害」  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/bousai2011/html/hyo/hyo010.htm>
- ・内閣府(2011), 「東日本大震災における死因(岩手県・宮城県・福島県)」  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/bousai2011/html/zu/zu004.htm>
- ・国土交通省都市局(2012), 「津波被災市街地復興手法検討調査(とりまとめ)」  
<http://www.mlit.go.jp/common/000209868.pdf>
- ・総務省消防庁(2012), 「東日本大震災記録集」  
[http://www.fdma.go.jp/concern/publication/higashinihondaishin\\_sai\\_kirokushu/pdf/honbun/03-01\\_02.pdf](http://www.fdma.go.jp/concern/publication/higashinihondaishin_sai_kirokushu/pdf/honbun/03-01_02.pdf)
- ・高知県(2018), 「日本一の健康長寿県構想 第3期(H28~H31) Ver3」  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/131601/files/2017050800137/file\\_h30zentai.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/131601/files/2017050800137/file_h30zentai.pdf)
- ・気象庁(2012年), 『気象庁技術報告 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告』  
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/CHAPTER2.pdf>
- ・国土交通省四国地方整備局(2016年), 『中土佐町災害に強いまちづくり計画(改定案)』  
[https://www.skr.mlit.go.jp/kensei/saigainituyoi/saigainituyoi\\_pdf/nakatosatyou.pdf](https://www.skr.mlit.go.jp/kensei/saigainituyoi/saigainituyoi_pdf/nakatosatyou.pdf)
- ・久貝寿之、加藤孝明、ヤルコン・ユスフ、小出治(1999) 「道路閉塞からみた街路の防災性能の評価手法の提案」 地域安全学会論文集,1,25-34  
[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_10503020\\_po\\_ART0009099577.pdf?contentNo=1&alternativeNo=](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10503020_po_ART0009099577.pdf?contentNo=1&alternativeNo=)
- ・寺木彰浩、阪田知彦、住宅・都市研究グループ(2006), 「建物倒

壊および道路閉塞のシミュレーション技術の開発」

<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/annual/heisei/h18-pdf/p-1/h18/gaibu/6-4.pdf>

・前田紗季、小檜山雅之(2011),「道路閉塞時の避難経路選択モデルを用いた住宅耐震補強の優先順位の確率的評価」

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jisss/14/0/14\\_9/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jisss/14/0/14_9/pdf-char/ja)

・佐藤広章、村上仁士、島田富美男、上月康則、倉田健悟、大谷寛(2002),「地震による家屋の倒壊を考慮した津波来襲時における避難に関する一考察」

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/proce1989/49/0/49\\_0\\_311/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/proce1989/49/0/49_0_311/pdf-char/ja)

・世界銀行(2012),「大規模災害から学ぶ」東日本大震災からの教訓」

<http://www.worldbank.org/ja/news/feature/2012/10/02/gfdrr-knowledge-notes>

・内閣府(2012),「東日本大震災を踏まえた防災基本計画の修正」

[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/honbun/4b\\_8s\\_01\\_34.htm](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/honbun/4b_8s_01_34.htm)

・国立社会保障・人口問題研究所(2018),「将来の地域別男女5歳階級別人口」

<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/t-page.asp>

・中土佐町(2016年),中土佐町人口ビジョン」

<http://www.town.nakatosa.lg.jp/download/?t=LD&id=447&fid=2989>

・中土佐町ホームページ

<https://www.town.nakatosa.lg.jp/life/detail.php?hdnKey=112>

・国土地理院(2013),基盤地図情報サイト

<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>

・estat,地図で見る統計(j STAT MAP)

<https://www.e-stat.go.jp/gis>

・内閣府(2012),「南海トラフ巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」

[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829\\_gaiyou.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_gaiyou.pdf)

・高知県(2013),「[高知県版] 南海トラフ巨大地震による被害想定について」

[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013051500465/2013051500465\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_95462.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013051500465/2013051500465_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_95462.pdf)

・桑沢敬行、片田敏孝(2008),「震災状況下における津波被害の発

生構造に関するシミュレーション分析」

<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jisceid/64/3/643380/pdf-char/ja>

・伊藤恵理、川瀬博、松島信一、畑山満則(2015),「予測強振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」

<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaee/15/5/15517/pdf-char/ja>

・発注ナビ(2017年9月1日),「VBAとは? Excelでマクロを作成するための基礎知識と便利な作業な自動化」

<https://hnavi.co.jp/knowledge/blog/vba/>

(最終閲覧日 2019年1月1日)

・家田仁、望月拓郎、上西周子(1998)「地震時に建築物の倒壊などによって生じる街路閉塞の危険度評価法」

「国際交通安全学会誌」,23(3),6-13

・中土佐町(2016),「避難場所情報」

<https://www.town.nakatosa.lg.jp/life/detail.php?hdnKey=112#ku>

(最終閲覧日 2019年1月8日)

・高知県(2014),「高知県防災マップ」

<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/>

・中土佐町(2017),「中土佐町空家等対策計画」

<https://www.town.nakatosa.lg.jp/download/?t=LD&id=612&fid=4565>

・国立研究開発法人建築研究所(2018),「2018年大阪北部の地震で被害を受けた補強コンクリートブロック塀を対象とした被害要因調査報告」

<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2018/osaka01.pdf>

・中土佐町(2015),「中土佐町地域防災計画 地震・津波対策編」

<https://www.town.nakatosa.lg.jp/download/?t=LD&id=590&fid=4444>

・国土交通省近畿地方整備局(2002),「阪神淡路大震災の経験に学ぶ 震災時の社会基盤利用のあり方について」

<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/1.html>

・吉井博明(2011),「津波避難行動に関する調査結果概要」

[http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi\\_kento/h23\\_shingi/02/1-1.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h23_shingi/02/1-1.pdf)