

避難シミュレーション

マニュアル案

改版履歴

日付	版数	種別	改版内容	改版要因	文書類	備考
13/2/20	1.0	新規				
13/3/19	2.0	更新	2/26 実施の「第3回シミュレーション普及小委員会」での内容を反映			
13/7/26	2.1	更新	体裁の統一			
14/4/15	3.0	更新	4/10 実施のWGでの検討 第1章の追加 設定の理由の追加			
14/5/27	3.1	更新	1章、2章の誤植等の修正 3章の説明文と図表の加筆修正、設定値の微修正(要相談) 5章のメンバー追加			



目次

目次	II
1. はじめに	1
1.1. 目的	1
1.2. 品質保証の方法	1
1.3. 構成	2
2. 検証	3
2.1. 検証の対象となるシミュレーションモデルの要因	3
2.2. 検証項目	4
2.3. 検証手順	5
2.4. 避難者発生を検証	5
2.4.1. シミュレーションモデルの要因の説明	5
2.4.2. 数値実験の設定条件	5
2.4.3. 検証項目	6
2.4.4. 結果の評価	6
2.4.5. オプション	6
2.5. 避難者の移動速度	6
2.5.1. シミュレーションモデルの要因の説明	6
2.5.2. 数値実験の設定条件	7
2.5.3. 検証項目	7
2.5.4. 結果の評価	7
2.5.5. オプション	8
2.6. 避難者の経路選択	8
2.6.1. シミュレーションモデルの要因の説明	8
2.6.2. 数値実験の設定条件	8
2.6.3. 検証項目	9
2.6.4. 結果の評価	9
2.6.5. オプション	9
2.7. 避難路の状態が移動速度に与える影響	9
2.7.1. シミュレーションモデルの要因の説明	10
2.7.2. 数値実験の設定条件	10
2.7.3. 検証項目	10
2.7.4. 結果の評価	10

2.7.5. オプション	11
2.8. ミクロモデルでの避難者と周囲の干渉	11
2.8.1. シミュレーションモデルの要因の説明	11
2.8.2. 数値実験の設定条件	11
2.8.3. 検証項目	14
2.8.4. 結果の評価	14
2.8.5. オプション	14
2.9. マクロモデルでの避難者と周囲の干渉	15
2.9.1. シミュレーションモデルの要因の説明	15
2.9.2. 検証時の条件設定	15
2.9.3. 検証項目	16
2.9.4. 結果の評価	16
2.9.5. オプション	16
2.10. 避難者と周囲の干渉：合流時挙動（ミクロモデル）	16
2.10.1. シミュレーションモデルの要因の説明	16
2.10.2. 数値実験の設定条件	17
2.10.3. 検証項目	17
2.10.4. 結果の評価	17
2.10.5. オプション	18
2.11. 津波避難シミュレーションへの提言	18

3. 妥当性確認..... 20

3.1. 目的	20
3.2. 妥当性確認に必要な機能	21
3.2.1. 避難路の設定に関する必要機能	21
3.2.2. 避難者の設定に関する必要機能	21
3.2.3. シミュレーション結果の出力に関する必要機能	21
3.3. 数値実験の設定概要	22
3.3.1. 避難路設定の概要	22
3.3.2. 避難者設定の概要	23
3.4. 数値実験の設定の詳細	24
3.4.1. 避難路の詳細設定	24
3.4.2. 避難者の詳細設定	26
3.4.3. 数値実験結果の出力設定	35
3.4.4. オプション	38
3.5. 妥当性確認項目	38
3.6. 結果の評価	38

4. 管理方法の検討..... 39

5. 小委員会メンバー，役割分担..... 39

1. はじめに

1.1. 目的

大地震発生後に津波の発生が予想される地域では、住民等の避難の状況を評価することが必要となる。評価の結果、円滑な避難を阻害する課題を抽出することが必要となる場合もある。状況評価や課題抽出のためには、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避難の状況を予測することになる。

津波避難シミュレーションは、大地震発生後の避難の状況をコンピュータ上で再現・予測するものである。このような津波避難シミュレーションは避難状況の客観的な予測をするための道具として使うことができる。道具として津波避難シミュレーションを使う場合、シミュレーションの結果がどの程度の精度を持ち、また、どの程度信頼できるかを把握することは重要である。本マニュアルは、これを津波避難シミュレーションの品質と称する。そして品質を保証する方法を示す。

本マニュアルで示す津波避難シミュレーションの品質保証には数値実験を使う。適切に設定された条件で数値実験を行い、その結果の良否を定量的に調べることが、品質保証の具体的な方法となる。なお、本マニュアルの方法で保証される品質は高品質ということでは決してない。津波避難シミュレーションに必要とされる最低限の品質を保証することが目的である。

1.2. 品質保証の方法

一般に、プログラムの品質にはさまざまな定義がある。しかし、一般には、要求仕様やプログラム仕様に合うことが品質の基本である。そして、品質保証の方法は、十分な数と種類のテストを行うことである。

設計等で使われる物理現象の数値解析のプログラムの場合、品質保証はより明確に定義される。対象とする物理現象を所定の精度で再現・予測できることが品質である。品質保証の方法は実験結果の再現と考えることができるが、この考え方は短絡的である。プログラムのバグが顕在化しなかった場合、他の実験結果の再現には失敗する場合、等々、特殊な場合が考えられるからである。すなわち、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からである。

物理現象の数値解析のプログラムの品質保証の方法として、二段階のテストが利用されるようになってきた。このテストは次の検証(verification)と妥当性確認(validation)である。

- 検証

プログラムが数値問題を正しく解いているか否かをテストする。数値問題の解法をプログラムに実装する段階におけるバグを取り除く。

- 妥当性確認

プログラムが解く数値問題が所定の精度で実験結果を再現するか否かをテストする。プログラムが解く数値問題の元となる物理モデルが妥当か否かを確認する。

検証は数値問題が正しく解けること、妥当性確認は数値問題の元の物理モデルが正しいことをテストするのである。

津波避難シミュレーションでは、避難者のシミュレーションモデルが上記の物理モデルに、そしてシミュレーションモデルから導かれる数式等が数理問題に対応する。したがって、数値解析のプログラムと同様、検証と妥当性確認によって、津波避難シミュレーションのプログラムの品質保証を行うことができる。

なお、物理現象の数値解析では、物理モデルは共通であることが多いが、津波避難シミュレーションではシミュレーションモデルが異なることが通常である。これは、シミュレーションモデルの要因にさまざまなものが考えられるからである。この点を重視し、本マニュアルは、多くの津波避難シミュレーションのプログラムで使われるシミュレーションモデルの基本的な要因に絞って、検証と妥当性確認の方法を示すことにする。個々のプログラムがもつ特有のシミュレーションモデルの要因に対しては、本マニュアルで示す方法に準拠することで検証と妥当性確認ができる。

1.3. 構成

本マニュアルは第2章に検証、第3章に妥当性確認を記述する。具体的な内容は、検証と妥当性の対象とその手順である。特に、検証と妥当性確認のために行われる数値実験の設定と、数値実験の計算結果の整理と評価の仕方の説明に重点を置く。

2. 検証

本マニュアルが対象とする津波避難シミュレーションの検証について説明する。

検証は、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したがって正しく挙動するかをテストするものである。このため、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。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。

2.1. 検証の対象となるシミュレーションモデルの要因

検証の具体的な対象はシミュレーションモデルの要因である。前述のように、津波避難シミュレーションのプログラムは独自のシミュレーションモデルを持ち、そのシミュレーションモデルにはさまざまな要因が考えられている。本マニュアルでは、津波避難シミュレーションの基本的な計算結果として「避難完了の推移」を取り上げ、避難完了推移に対して影響が大きいと考えられる要因に絞る。選定された要因とその選定理由を以下に示す。

- 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推移に影響するため、これを避難者の発生として、考慮すべきシミュレーションモデルの要因とする必要がある。

- 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ため、考慮すべきシミュレーションモデルの要因とする必要がある。

- 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推移に直接影響する。したがって、考慮すべきシミュレーションモデルの要因とする必要がある。

- 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、避難完了推移に直接影響する。したがって、考慮すべきシミュレーションモデルの要因とする必要がある。

- 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。このため、考慮すべきシミュレーションモデルの要因とする必要がある。

各プログラムに固有なシミュレーションモデルの要因がある場合、それを津波避難シミュレーションのオプションとして位置づけ、本マニュアルに準拠した検証と妥当性確認を行うことを勧める。

2.2. 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整理する。ついで検証項目の具体的な検証の実施手順について説明する。なお、本マニュアルが対象とする避難者の避難手段は徒歩と車両とする。

- 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。

- 避難路の状態による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。このため、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。

上記に整理したシミュレーションモデルの要因をふまえ、本マニュアルで対象とする検証項目は下記の通りとする。

- 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
- 避難者の経路選択（徒歩・車両共通）：経路選択のアルゴリズム
- 避難路の状態が移動速度に与える影響(徒歩のみ)：勾配、階段
- 避難者と周囲との干渉
 - ミクロモデル（徒歩・車両共通）、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（徒歩・車両共通）、交通量による混雑

2.3. 検証手順

各検証項目の検証手順は、基本的に下記の①～⑤の手順で行う。

- 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、検証を行う。

2.4. 避難者発生を検証

シミュレーションモデルの要因である避難者の発生に対し、避難開始時間と避難開始場所の2項目を検証する。避難手段が徒歩の場合と車両の場合のそれぞれを対象とする。

2.4.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難者の発生の設定方法を説明する。例えば、個々の避難者をある時間に適当な場所に発生させる、ということが考えられる。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.4.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

同一シミュレーションモデル上で、2本の異なる長さの避難路を定義する。2つの避難路は長さや位置が異なるが、それ以外のパラメータは同一とする。避難路の始点-終点を A-C と B-C とする。設定されたパラメータを記述する。

② 避難者

2つの避難者1と避難者2を発生させる。避難手段は徒歩および車両とする。移動速度等は下記の通りとする。下記以外のパラメータは全て共通とする。

徒歩：

避難者1 移動速度 1.3 m/s, A 点にシミュレーション開始 5 秒後に発生。C 点に向けて移動。

避難者2 移動速度 1.3 m/s, B 点にシミュレーション開始 10 秒後に発生。C 点に向けて移動。

車両：

避難者1 移動速度 10 km/h, A 点にシミュレーション開始 5 秒後に発生。C 点に向けて移動。

避難者2 移動速度 10 km/h, B 点にシミュレーション開始 10 秒後に発生。C 点に向けて移動。

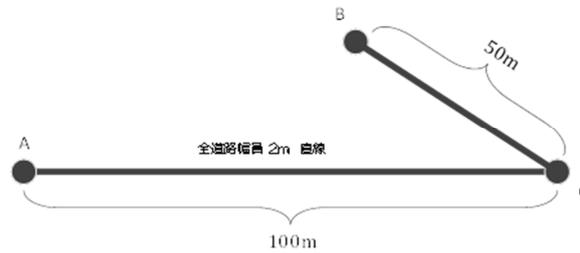


図 2.4.1 空間条件設定イメージ

2.4.3. 検証項目

検証項目は、避難者 1 と避難者 2 の C 点への到達時間と移動時間である。

2.4.4. 結果の評価

シミュレーションから到達時間と移動時間を計算し、理論値と一致していることを確認する。設定された時間刻みの値や数値誤差等で到達時間や移動時間が異なる場合にはその理由を述べる。

表 2.4.1 結果

	実行開始から C 点到達時間[秒]		移動時間[秒]	
	理論値	シミュレーション	理論値	シミュレーション
避難者 A				
避難者 B				

2.4.5. オプション

避難者発生に関するシミュレーションモデルにおいて、「指定された避難開始時間」と「指定された避難開始場所」以外の条件を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションの条件としては、例えば、「所定の確率分布に従った発生時間の指定」や「所定の確率分布に従った発生場所の指定」が考えられる。

2.5. 避難者の移動速度

シミュレーションモデルの要因である避難者の移動速度に対し、実際の移動速度を検証する。避難手段が徒歩の場合と車両の場合のそれぞれを対象とする。

2.5.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難者の移動速度の設定方法を説明する。例えば、行政界などエリア単位で設定、避難者の種別ごとに指定、個別の避難者ごとに指定等が考えられる。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.5.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

一本の直線の避難路を定義する。始点-終点を A-B とする。設定されたパラメータを記述する。

② 避難者

2つの避難者 1 と避難者 2 を発生させる。避難手段は徒歩および車両とする。移動速度等は下記の通りとする。下記以外のパラメータは全て共通とする。

徒歩：

避難者 1 移動速度 1.3 m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。

避難者 2 移動速度 1 m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。

車両：

避難者 1 移動速度 10 km/h, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。

避難者 2 移動速度 8 km/h, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。

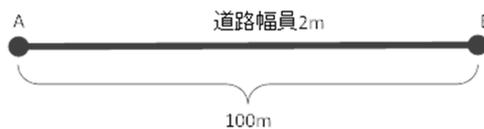


図 2.5.1 空間条件設定イメージ

2.5.3. 検証項目

検証項目は、避難者 1 と避難者 2 の B 点への到達時間である。

2.5.4. 結果の評価

シミュレーションの計算結果を掲載し、理論値と一致していることを確認する。設定された時間刻みの値や数値誤差等で到達時間が異なる場合にはその理由を述べる。

表 2.5.1 結果

	移動時間[秒]	
	理論値	シミュレーション
避難者 1		
避難者 2		

2.5.5. オプション

移動速度に関するシミュレーションモデルにおいて、「指定された移動速度」以外の条件を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションの条件としては、例えば、「所定の確率分布に従った移動速度の指定」や「加速度を考慮した移動速度制御」等が考えられる。

2.6. 避難者の経路選択

シミュレーションモデルの要因である避難者の経路選択に対し、経路選択のアルゴリズム通りに選択されていることを検証する。避難手段が徒歩の場合と車両の場合のそれぞれを対象とする。

2.6.1. シミュレーションモデルの要因の説明

経路選択のアルゴリズムには、例えば、ダイクストラ法、均衡配分、直接指定等がある。このアルゴリズムは、あらかじめ経路を指定するものと、状況に応じて経路が選択されるものに大別される。前者の場合、例えば、出発地と目的地の設定方法、経路の設定方法（距離最小等）を記述する。出発地・目的地として設定可能な位置に指定があれば、それも記述する。また、行政界などエリアごと（もしくは、避難者の種別ごと、個別の避難者ごと）に経路が指定される場合は、それも記述する。後者の場合、例えば、状況の定義、状況に応じた経路の選択方法を記述する。状況としては、混雑の度合い、避難路の幅員等が考えられる。経路の選択方法が、避難者の属性によって異なる場合は、それも記述する。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.6.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

図に示す、A～F点の6点からなる避難路とする。各避難路は直進するが、B点からはC点ないしD点へ分岐、C点からはD点とE点へ分岐、D点からはC点とE点へ分岐する。全避難路は、設置位置以外は同一の設定値とする。

② 避難者

避難者1を発生させる。避難手段は徒歩および車両とする。移動速度等は下記の通りとする。

徒歩：

避難者1 移動速度 1.3 m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生。F 点に向けて移動。

車両：

避難者1 移動速度 40 km/h, A 点にシミュレーション開始直後に発生。F 点に向けて移動。

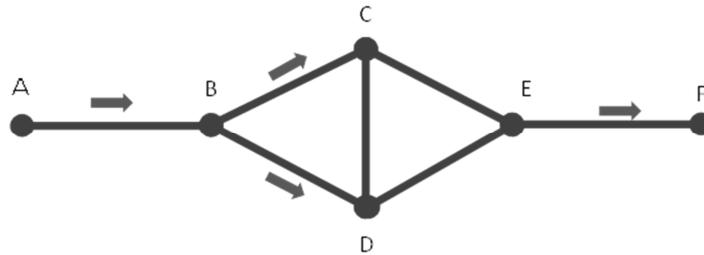


図 2.6.1 空間条件設定イメージ

2.6.3. 検証項目

検証項目は、避難者 1 が選択した経路である。

2.6.4. 結果の評価

アルゴリズムにしたがった場合の経路（理論）と、シミュレーションの結果である経路（計算）を並記し、一致していることを確認する。経路が異なる場合にはその理由を述べる。

なお、経路は、選択した経路の接続点配列またはリンク配列を順番に記載する。例えば、A-B-C-E-F、という順番である。

表 2.6.1 結果

	理論値		シミュレーション	
	経路選択	配分(選択確率)	経路選択	配分(選択確率)
経路 1				
経路 2				
...				

2.6.5. オプション

経路選択に関するシミュレーションモデルにおいて、上記とは異なる条件を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションの条件としては、例えば、「経由地の指定」が考えられる。

2.7. 避難路の状態が移動速度に与える影響

シミュレーションモデルの要因である避難路の状態が移動速度に与える影響に対し、経路の勾配に応じて移動速度が低下すること、そして経路が階段である場合に移動速度が低下することを検証する。避難手段は徒歩の場合を対象とする。

2.7.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難路の勾配が移動速度に与える影響について、勾配と移動速度の関係を明記する。例えば、ルールベース、関数、定数等が考えられる。避難路が階段である場合、階段での移動速度も明記する。ふみ幅や上り幅の影響も考慮されているのであれば、これを式等を使って説明する。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.7.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

図に示す、A～J点の10点からなる避難路とする。避難路A-B、E-F、G-HとI-Jは水平路、避難路B-CとC-D間は上り勾配（勾配は異なる）、避難路D-Eは下り勾配、避難路F-Gは上り階段、避難路H-Iは下り階段とする。上り勾配と下り勾配の勾配の値は指定通りとする。

② 避難者

避難者1を発生させる。避難手段は徒歩のみとする。

避難者1 A点にシミュレーション開始直後に発生。J点に向けて移動。

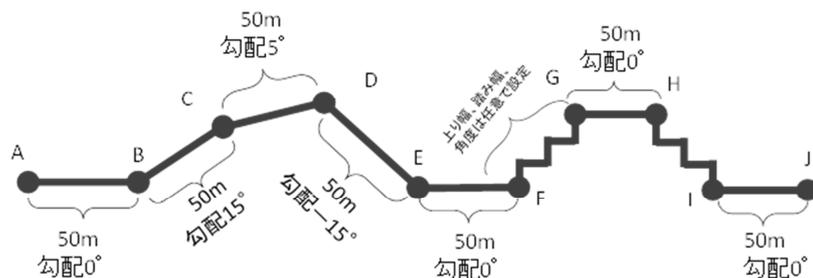


図 2.7.1 道路状態の設定イメージ

2.7.3. 検証項目

検証項目は、避難路A-Bから避難路I-Jまでの各避難路の通過にかかった所要時間である。

2.7.4. 結果の評価

設計された勾配と移動速度の関係から計算される各避難路の移動のための所要時間（理論値）と、シミュレーションの結果から得られる所要時間（計算値）を比較し、一致していることを確認する。設定された時間刻みの値や数値誤差等で所要時間が異なる場合にはその理由を述べる。

表 2.7.1 結果

	移動時間[秒]	
	理論値	シミュレーション
区間 A-B		
区間 B-C		
区間 C-D		
区間 D-E		
区間 E-F		
区間 F-G		
区間 G-H		
区間 H-I		
区間 I-J		

2.7.5. オプション

避難路の状態が移動速度に与える影響に関するシミュレーションモデルにおいて、上記とは異なる条件を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションの条件としては、例えば、「トンネル内」、「舗装道路と未舗装道路」、「夜間の場合の避難路の明るさ」、「避難路の幅員」、「避難路での車道と歩道の区別の有無」が考えられる。

2.8. ミクロモデルでの避難者と周囲の干渉

シミュレーションモデルの要因である避難者と周囲の干渉に対し、トポロジーによる混雑と交通量による混雑の2項目を検証する。避難手段が徒歩の場合と車両の場合のそれぞれを対象とする。

2.8.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難者と周囲の干渉について、考慮されている内容を説明する。例えば、干渉する対象（他の避難者、避難路の障害物等）、干渉を表す指標（他の避難者の向きや距離、避難路の障害物との距離）が考えられる。また、干渉のアルゴリズムも説明する。例えば、アルゴリズムを示す計算式（他の避難者との距離と速度低下の関係）である。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.8.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

次の2つの避難路を作る。避難路の設定は下記の通りとする。下記以外の条件は共通とする。

歩行者：

直線形状の避難路 A-B。幅員 2 m、長さ 100 m とする。この幅員は、追い越しはできないものの、すれ違いができるものとする。

車両：

直線形状の避難路 A-B. 片側 1 車線（並走，追い越しは不可），長さ 1 km とする.

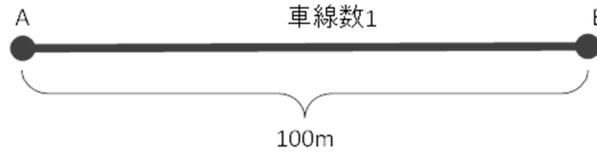


図 2.8.1 設定イメージ

② 避難者

2つの避難者 1 と避難者 2 を発生させる。避難手段は徒歩および車両とする。徒歩の場合は 4 ケース，車両の場合は 2 ケーを考える。なお，徒歩の場合の壁との干渉のケースでは，避難者 1 のみを発生させる。移動速度等は下記の通りとする。下記以外のパラメータは全て共通とする。

徒歩ケース 1（停止している避難者との干渉）：

避難者 1 移動速度 1.3 m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。避難者 2 移動速度 0 m/s, A 点と B 点の間の適当な位置にシミュレーション開始直後に発生。

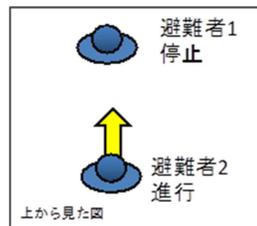


図 2.8.2 設定イメージ

徒歩ケース 2（対向する避難者との干渉）：

避難者 1 移動速度 1.3m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生。B 点に向けて移動。

避難者 2 移動速度 1.3m/s, B 点にシミュレーション開始直後に発生。A 点に向けて移動。

徒歩ケース 3（順行する避難者との干渉）：

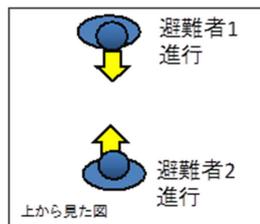


図 2.8.3 設定イメージ

避難者 1 移動速度 1.3m/s, A 点にシミュレーション開始直後に発生. B 点に向けて移動.

避難者 2 移動速度 1.0m/s, A 点から B 点側に 10m 移動した点にシミュレーション開始直後に発生. B 点に向けて移動.

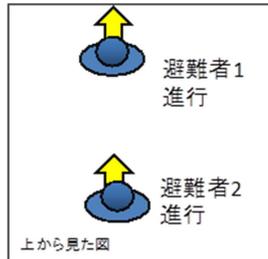


図 2.8.4 設定イメージ

徒歩ケース 4 (避難路の壁との干渉) :

避難者 1 移動速度 1.3m/s, 適当な位置から壁に斜めに向って移動.

上記の 4 つケースに近い状態になる状況を設定すれば良い. 避難者の位置等は明記する.



図 2.8.5 設定イメージ

車両ケース 1 (停止している避難者との干渉) :

避難者 1 移動速度 40 km/h, A 点にシミュレーション開始直後に発生. B 点に向けて移動.

避難者 2 移動速度 0 km/h, A 点と B 点の間の適当な位置にシミュレーション開始直後に発生.

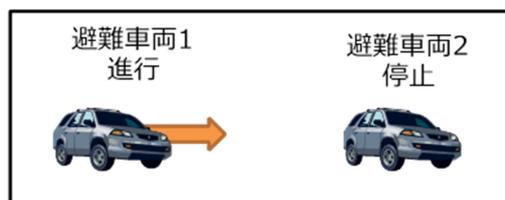


図 2.8.5 設定イメージ

車両ケース 2 (順行する避難者との干渉) :

避難者 1 移動速度 40 km/h, A 点にシミュレーション開始直後に発生. B 点に向けて移動.

避難者 2 移動速度 30 km/h, A 点から B 点側に 200m 移動した点にシミュレーション開始直後に発生. B 点に向けて移動.



図 2.8.6 設定イメージ

上記の 6 つのケースに近い状況を設定すれば良い。避難者の位置等は明記する。

2.8.3. 検証項目

検証項目は、避難者 1 の位置の推移である。推移は時間ごとの 2 次元座標として表す。可能であれば、位置の推移を軌跡として図示したり、動画として可視化する。

2.8.4. 結果の評価

シミュレーションから得られた避難者 1 の位置の推移が、設計された干渉のアルゴリズムから導かれる位置の推移と一致していることを確認する。設定された時間刻みの値や数値誤差等で位置の推移が異なる場合にはその理由を述べる。

表 2.8.1 結果

	避難車両 1 座標 (X, Y)		避難車両 2 座標 (X, Y)	
	理論値	シミュレーション	理論値	シミュレーション
0ステップ				
1ステップ				
2ステップ				
...				

2.8.5. オプション

避難者と周囲の干渉に関するシミュレーションモデルにおいて、「他の避難者」や「壁」以外との干渉を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションとなるものとして、例えば、徒歩の場合、「煙」や「浸水」、車両の場合、「信号」、「グリッドロック」、「レーン間」、「歩行者」が考えられる。

2.9. マクロモデルでの避難者と周囲の干渉

干渉のマクロモデルでは、歩行者や車両を使う避難者同士の混雑が、適当な街区・地区・地域で集計される密度、速度、交通量の関係式として表現される。マクロモデルのこの特徴を考慮し、干渉の検証を行う。

2.9.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難者と周囲の干渉について、考慮されている内容を説明する。例えば、干渉する対象（他の避難者等）、干渉を表すために使われる指標（交通密度、車両間隔、車両長等）が考えられる。また、干渉のモデルやアルゴリズム（フルイン、グリーンシールズ等）も説明する。例えば、アルゴリズムを示す計算式である。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.9.2. 検証時の条件設定

① 避難路

次の2つの避難路を作る。避難路の設定は下記の通りとする。下記以外の条件は共通とする。

歩行者：

直線形状の避難路 A-B。幅員 2 m、長さ 100 m とする。

車両：

直線形状の避難路 A-B。片側 1 車線（並走、追い越しは不可）、長さ 1 km とする。

② 避難者

歩行者：

移動速度 1.3 m/s、適当な混雑状態を複数ケース設定。各々ケースで避難者を A 点から B 点に移動させる。

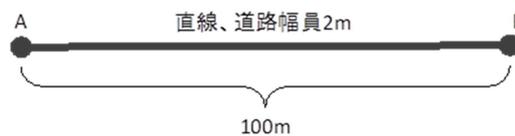


図 2.9.1 設定イメージ

車両：

移動速度 10 km/h、適当な混雑状態を複数ケース設定。各々ケースで避難者を A 点から B 点に移動させる。

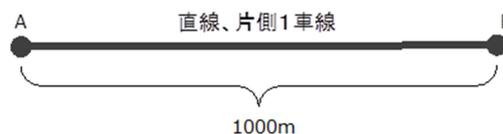


図 2.9.2 設定イメージ

マクロモデルでは、避難者の移動速度は避難路の混雑状態を表現するパラメータ（密度、交通量等）によって決定される。非混雑状態のケースの他、最低2つの混雑状態のケースを設定する。各ケースの混雑状態のパラメータを明示する。

2.9.3. 検証項目

検証項目は、避難路の移動時間である。

2.9.4. 結果の評価

設計されたマクロモデルの移動速度を決める関係式から算出される移動時間（理論値）と、シミュレーションの結果から計算される移動時間（計算値）が一致していることを示す。明確な比較のため、移動時間とパラメータの関係をグラフとして図示する。

例) 密度と移動時間の関係プロット

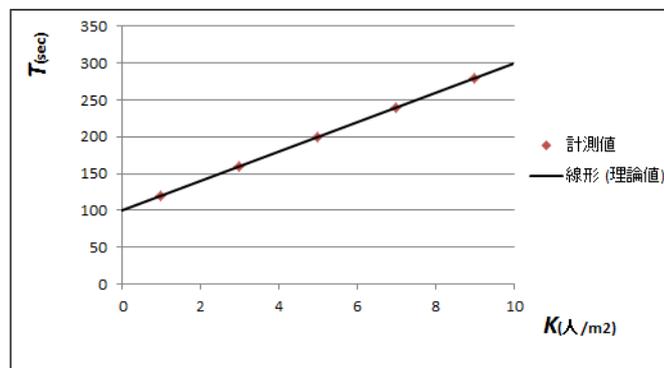


図 2.9.3 密度と移動時間の関係

2.9.5. オプション

避難者と周囲の干渉に関するシミュレーションモデルにおいて、混雑状態を示すパラメータが多数ある場合、上記と同様に、適当なパラメータに対して移動時間とパラメータの関係のグラフを作る。また、「信号」や「交差点」等の影響が考慮できる場合、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。

2.10. 避難者と周囲の干渉：合流時挙動（マイクロモデル）

シミュレーションモデルの要因である避難者と周囲の干渉の中で、合流時挙動は特に多様な取り扱いがある。検証の一つの方法を提示する。

2.10.1. シミュレーションモデルの要因の説明

避難者の合流時挙動に影響する条件として、例えば、合流先の避難者間の間隔、合流先の移動速度等、さまざまなものが考えられる。各々の条件の意味や定義、設定方法を明記する。必要に応じて図示する。参考文献があれば文献名を示す。

2.10.2. 数値実験の設定条件

① 避難路

合流先の避難路は片側1車線の直線とし、始点-終点をA-Bとする。合流元の避難路も片側1車線の直線とし、始点-終点をD-Cとする。D点は避難路A-Bの中点である。2つの避難路の幅員は、追い越し・並走ができないものとする。

② 避難者

徒歩：

避難路A-B上の複数の避難者 移動速度 1.3 m/s, シミュレーション開始時に、一定間隔で存在。B点に移動。さらに、A点から間隔を保って順次発生。B点に移動。

避難路C-D上の避難者1 移動速度 1.3 m/s, C点にシミュレーション直後に発生。D点を経由してB点に移動。

車両：

避難路A-B上の複数の避難者 移動速度 40 km/h, シミュレーション開始時に、一定間隔で存在。B点に移動。さらに、A点から間隔を保って順次発生。B点に移動。

避難路C-D上の避難者1 移動速度 40 km/h, C点にシミュレーション直後に発生。D点を経由してB点に移動。

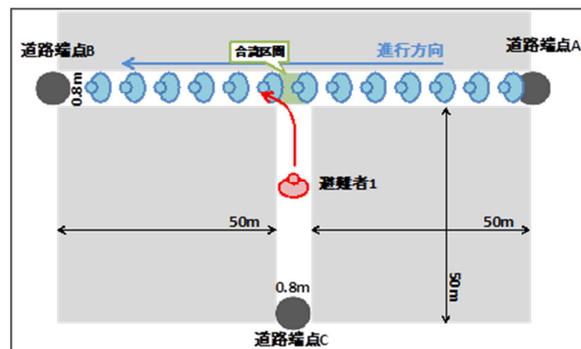


図 2.10.1 設定イメージ

2.10.3. 検証項目

検証項目は避難者1の位置の推移である。推移は時間ごとの2次元座標として表す。可能であれば、位置の推移を軌跡として図示したり、動画として可視化しても良い。

2.10.4. 結果の評価

シミュレーションから得られた避難者1の位置の推移が、設計された干渉のアルゴリズムから導かれる位置の推移と一致していることを確認する。設定された時間刻みの値や数値誤差等で位置の推移が異なる場合にはその理由を述べる。

表 2.10.1 結果

	避難車両 1 座標 (X, Y)		合流先の避難車両 座標 (X, Y)	
	理論値	シミュレーション	理論値	シミュレーション
0 ステップ				
1 ステップ				
2 ステップ				
...				

2.10.5. オプション

避難者と周囲の干渉に関するシミュレーションモデルにおいて、「他の避難者」以外との干渉を設定できる場合には、2.3 に記述した検証手順にしたがって、検証を記述する。オプションとなるものとして、例えば、「信号」、「横断歩道」、「歩行者と車両の混在」が考えられる。

2.11. 津波避難シミュレーションへの提言

津波避難シミュレーションの根幹であるシミュレーションモデルでは、さまざまな考慮すべき要因がある。このような要因の中には、要因自体の調査・計測が困難なものや、調査・計測されたデータ量が少なく定量化が困難であるものがある。また、数理的なモデルを使って要因を定式化した場合、非線形方程式となることも多く、さらに、その方程式がカオスの挙動（若干の初期状態の差が大きな違いを生むという、初期値鋭敏性）を示すものもある。このような要因はシミュレーションモデルに組み込むことが困難である。具体的には次のような要因である。

- 超高密度状態

一般に利用されている車両や歩行者の交通流モデルの多くは、通常時の交通状況を対象としたものである。当然、混雑状態を含め、通常時の交通状況の再現・予測の精度は高い。しかし、津波避難という非常時は、通常時の交通状況と異なることは自明である。例えば、大勢の避難者が同時に特定の避難場所への避難を行う、といった状況である。これは超高密度状態の交通流となる。通常時の交通状況の数理モデルの枠組みでは、超高密度状態は、交通密度が数理モデルの臨界点を越えた状態に対応し、数理モデルの初期状態に結果が大きく依存するというカオスの挙動を示す。単純に通常時の数理モデルを外挿するだけでは、精度が期待できない。

- 合流部

一般に利用されているマクロまたはメソレベルでの交通モデルでは、通常時における合流部での滞留等の交通状態を、ある程度の精度で、再現・予測することができる。しかし、津波避難という非常時には、交差点の信号が利用できない場合や、道路分岐点における進行方向の迷い等、通常時よりも極端に流量が低下する可能性がある。そして、流量の極端な低下は津波避難に無視できない影響を与えることは自明であ

る。異常時の合流部での交通状況は計測が難しく、また、既存のデータも量的に不十分である。したがって、異常時の合流部も交通状態をモデル化することは困難である。

上記の2つの要因は、マクロレベルまたはメソレベルでのシミュレーションモデルに組み込むことが難しい要因である。一方、ミクロレベルのシミュレーションモデルでは、歩行者一人や車両一台の挙動をモデル化しているため、この2つの要因を組み込むことは可能である。ただし、次の2つの課題がある。

- 計算量の増大

一人や一台の単位で避難行動を計算する必要がある。多数の避難者のシミュレーションを行う場合、必要な計算量は膨大となる。

- 結果の評価・理解

ミクロレベルのシミュレーションには確率的要素が含まれるが、カオスの挙動を示す非線形数理モデルが使われると、シミュレーション毎に結果が大きく異なる可能性もある。この結果を評価・理解することは難しい。

そのため、比較的広域な街区での避難シミュレーションでは、マクロレベルおよびメソレベルの交通モデルが扱いやすい。

津波避難に限らず、災害からの避難シミュレーションでは、災害時の異常な交通状態を表現する必要がある。シミュレーションモデルを確立するためには、シミュレーションモデルの要因について、合理的なモデル化が望まれている。今後、異常時の交通や人間の行動をモデル化するために必要なデータ計測手法の確立や定式化に向けた研究や議論が進むことを期待する。

3. 妥当性確認

津波避難シミュレーションプログラム（以下、津波避難シミュレータ）の妥当性確認について説明する。

「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。このため「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。なお、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。このため、個々の避難者の挙動を対象とした「検証」（2章の内容）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。

3.1. 目的

「検証」を経た津波避難シミュレータを使って、調査結果から推定される住民等の避難行動を、所定の精度・信頼度で再現できることを明示するのが目的である。このことは、将来のユーザーに対して津波避難シミュレータの品質を保証することにつながる。

「妥当性確認」で特に設定に反映すべき重要な点は次の2点である。

- 地域の避難路

数値実験における避難路の設定は、一方通行道路や坂道、階段といった地域の避難路の特性や、高台等の地域住民の避難先の位置を直接反映する。

- 地域の避難者

数値実験における避難者の設定は、地域の住民等の特性を直接反映する。具体的には、避難者の人数や徒歩避難や車両避難といった避難手段の選択割合である。また、住居・職場といった避難開始地点や各避難者の避難開始時刻の分布、各避難者の避難先も考慮される。

3.2. 妥当性確認に必要な機能

本章の「妥当性確認」では、簡単な避難路と少数の避難者による2章の「検証」と異なり、実地域の避難路と住民等を模擬した数値実験を行う。この数値実験を実行するために必要とされる基本的な機能を列挙する。

2章の「検証」で対象とした機能以外の機能（以下、独自の機能という）を持つ津波避難シミュレータでは、必要に応じて、その機能についても検証を行うことが必要である。なお、2章の「検証」で対象としたシミュレーションモデルの要因である

- ・避難者の発生
- ・避難者の移動速度
- ・避難者の避難経路選択
- ・避難路の状態による移動速度の変化
- ・避難路の混雑による移動速度の変化

に関しては、独自の機能についても2章の「検証」の手続きにおいてオプションとして検証することとする。しかし、「妥当性確認」の数値実験を行うとき、上記の5つのシミュレーションモデルの要因に関わらない独自の機能を用いる場合には、妥当性確認の数値実験を行う前に、当該機能について「検証」を行うことが必要である。その際、本マニュアルの「2.3.検証手順」に準拠することが望ましい。

3.2.1. 避難路の設定に関する必要機能

- 歩道や車道を設定できる機能（距離、幅員、車線数、勾配等の空間属性が設定できることが望ましい）。
- 街区内や道路上に避難者が避難を開始する地点を設定できる機能。
- 避難者の避難先（高台等）を設定できる機能。

3.2.2. 避難者の設定に関する必要機能

- 避難者ごとに発生地点を設定できる機能。
例えば、指定された数の徒歩と車両の避難者を、街区エリア内や道路に指定の時系列分布で発生させられることが望ましい。
- 発生地点から目的地までの避難経路を設定できる機能。
例えば、静的な経路選択の場合は最短経路を設定できること、動的な経路選択の場合は、発生地点と一つないし複数の目的地を設定できることが望ましい。また、中継点を設定できることが望ましい。
- 2章の「検証」にて再現性が確認された移動速度を避難者ごとに設定できる機能。

3.2.3. シミュレーション結果の出力に関する必要機能

- 時間毎の避難完了者数の推移をグラフや表で出力できる機能（避難者が移動の様子をアニメーションで可視化できることが望ましい）。

3.3. 数値実験の設定概要

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対象とした津波避難シミュレーションである。地震発生後の避難行動に関する多数のヒアリング調査の結果を基に、本マニュアルの妥当性確認に適切な数値実験を設定している。すなわち、本マニュアルで設定される数値実験は実際の津波避難を忠実に反映するものではない。しかし、調査の結果とデータの質・量を踏まえた上で、数値実験に設定された津波避難状況は合理的と考えられるものである。

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する。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。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。

3.3.1. 避難路設定の概要

図3.3.1に数値実験の対象地域の概略図を示す。

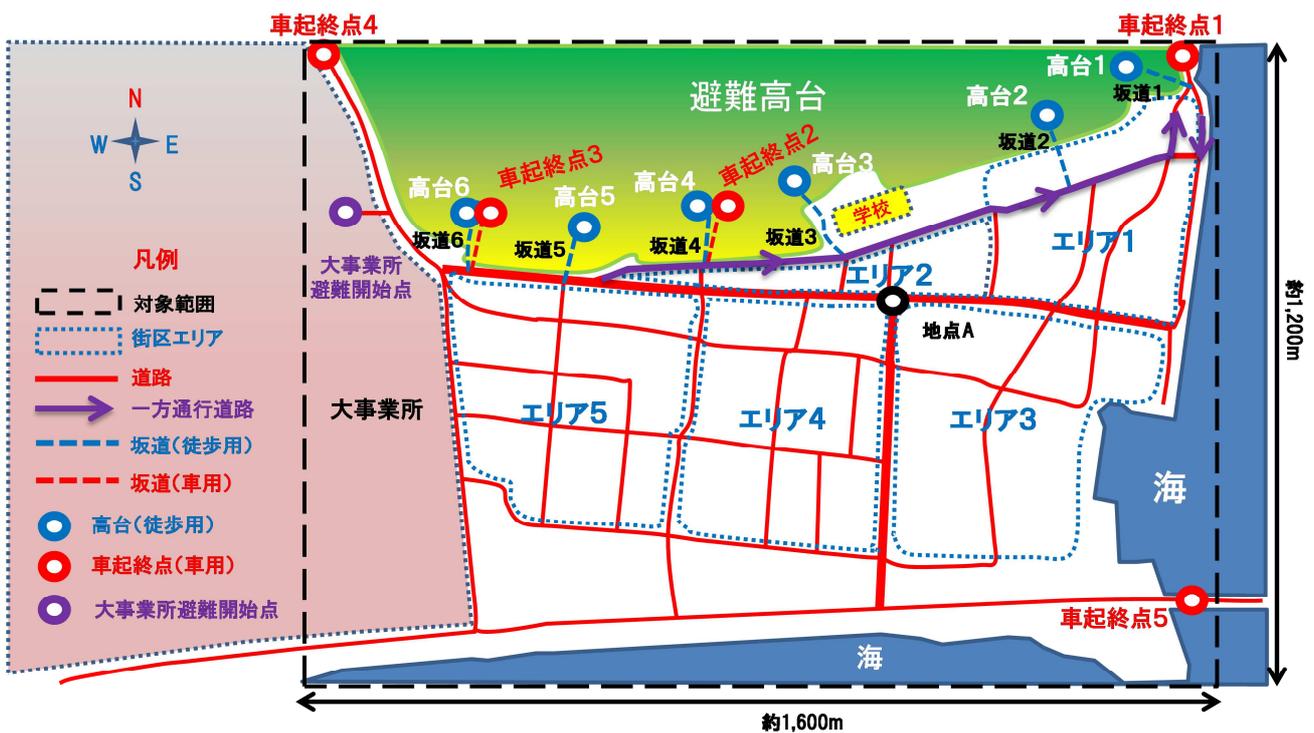


図 3.3.1 対象地域の概略図

以下は図3.3.1に関する説明である。設定の詳細は「3.4.1. 避難路の詳細設定」を参照していただきたい。

- ・数値実験の解析対象範囲はの黒破線内の東西・南北方向に約1.6km×1.2kmの地域内とする。
- ・赤色の実線は解析対象範囲内で双方向に通行可能で平坦な主要道路である。詳細な道路は省略している。
- ・紫色の矢印付き実線は車両に対して一方通行の規制がある道路である。
- ・青破線で囲まれたエリア1～5は徒歩避難を行う住民と車両避難を行う住民の発生エリアである。

- ・紫丸の大事業所避難開始地点は、当該区画にある大きな事業所の従業員の発生地点である。
- ・青丸の高台 1～6 は徒歩で避難する住民等の目的地である。
- ・赤丸の車起終点 2, 3 は、車で避難する住民の目的地である。
- ・赤丸の車起終点 1, 4, 5 は、当該地域を通過中の車両の発生点と目的地である。
- ・黒丸の地点 A は車起終点 1, 4, 5 を発生点・目的地とする通過車両が経由する地点である。
- ・青色の破線は徒歩避難者が高台に避難する際に通過する急勾配の坂道や階段である。
- ・赤色の破線は車両が車起終点 2, 3 に避難する際に通過する急勾配の坂道である。

3.3.2. 避難者設定の概要

徒歩避難者と車両避難者の発生（発生地点、発生時間）と経路（目的地、移動経路）を以下の 5 つの避難シナリオによって設定する。数値実験では、下記の避難シナリオ 1～5 の避難者を同時にシミュレーションする。設定の詳細は「3.4.2.避難者の詳細設定」を参照していただきたい。

- シナリオ 1：住民の徒歩避難

地震発生時に自宅にいて、徒歩で避難する住民の避難シナリオをシナリオ 1 とする。各街区エリアに指定された人数の徒歩避難者を配置する。後述する避難開始時間分布 A に従って逐次的に避難開始し、高台 1～6 のいずれかを目的地として避難する。

- シナリオ 2：住民の車両避難

地震発生時に自宅にいて、車で避難する住民の避難シナリオをシナリオ 2 とする。各街区エリアに指定された台数の車両を配置する。後述する避難開始時間分布 A に従って逐次的に避難開始し、各街区エリアから車起終点 2 に 50%、車起終点 3 に 50%避難する。

- シナリオ 3：外出住民の車一時帰宅避難

地震発生時に外出先にいて、一度帰宅してから車で避難する住民の避難シナリオをシナリオ 3 とする。ただし、数値実験では外出先から帰宅する行動は再現せず、自宅から避難する行動のみを再現する。後述する避難開始時間分布 B に従って、各街区エリアから指定された台数の車両が逐次的に発生し、各街区エリアから車起終点 2 に 50%、車起終点 3 に 50%避難する。（シナリオ 2 との違いは避難開始時間分布のみ。）

- シナリオ 4：通過車の避難

地震発生時に対象地域を通過中の車両（通過車）の避難シナリオをシナリオ 4 とする。通過車は車起終点 1, 4, 5 から発生する。予め地震発生時に対象領域内の道路上に走行中の車両がいる状況を創出するために、通過車の発生時間は地震発生 20 分前から地震発生 20 分後までの 40 分間とする。通過車の発生間隔は車起終点 1 が 20 秒間隔、車起終点 4 と車起終点 5 が 5 秒間隔とする。通過車の目的地は車起終点 1 から発生した車両の目的地は車起終点 4、車起終点 4 から発生した車両の目的地は車起終点 5、車起終点 5 から発生した車両の目的地は車起終点 4 とする。なお、地震発生後も通過車は目的地を変更しないものとする。また、可能な限り通過車は地点 A を経由することとする。

- シナリオ 5：大事業所からの避難

地震発生時に大事業所にいた従業員の避難シナリオをシナリオ 5 とする。大事業所避難開始地点を発生地点とし、地震発生 15 分後から 1 秒間隔で 1,300 人の避難者を発生し、徒歩で高台 6 に避難する。

図 3.4.1 に LineData_20130728.shp を GIS ソフトウェアで可視化した例を示す。図 3.4.1 の左側の窓に表示されているスキーマの項目は LineData_Gisformat20130728.xls のコラムと一致している。

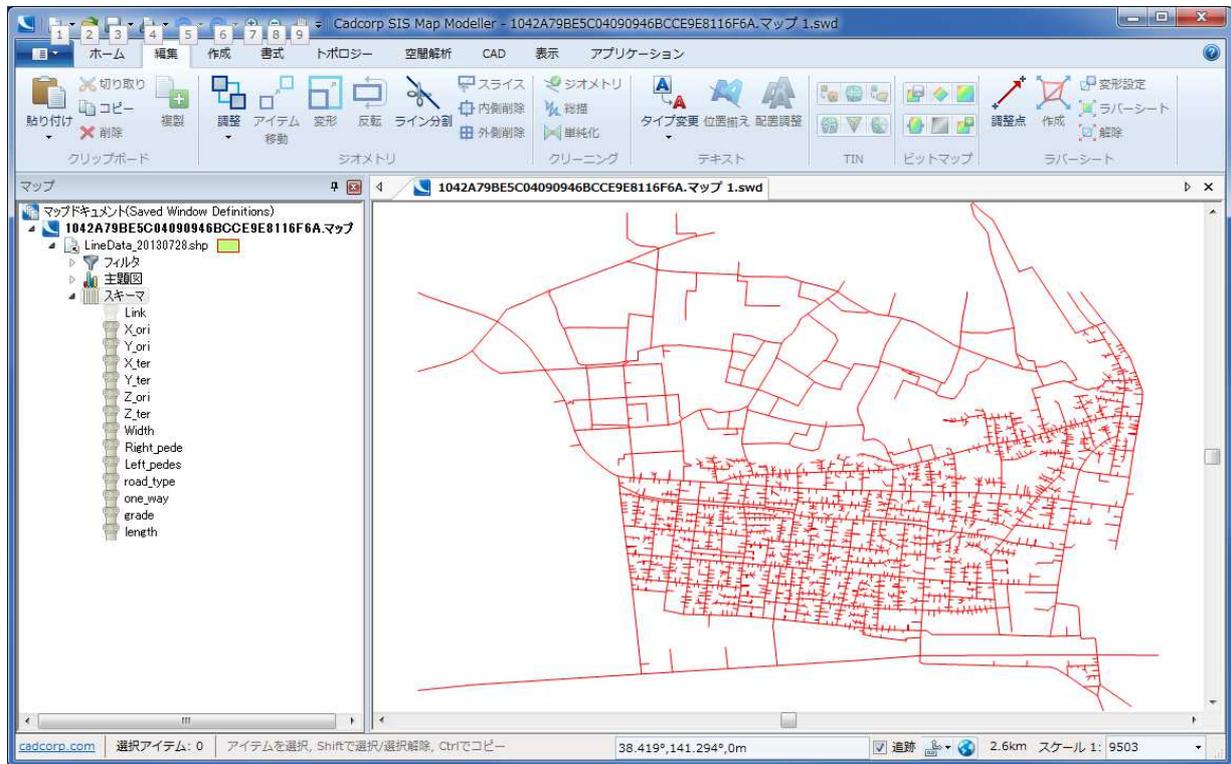


図 3.4.1 対象領域の道路ネットワークデータ (LineData_20130728.shp)

上記の道路ネットワークデータでは、各 Link は始点座標と終点座標を結ぶ直線道路であり、屈曲している道路は複数の Link で表される。道路の勾配は始点と終点の 3 次元座標から計算することができる。

データには車線数の情報は含まれていないが、妥当性確認を行う際にはすべての道路が片側 1 車線(一方通行の場合は 1 車線、両方向の場合は 2 車線)とする。

歩道のデータ (P_width_R : 右側の歩道幅, P_width_L : 左側の歩道幅) の左右は、道路の始点に立って道路の終点の方向を見たときの左右に相当する。歩道の幅は現地の歩道整備状況を忠実に反映したものであるため、歩道が設けられていない道路や、左右の片側にのみ歩道が設けられている道路もある。現実的な徒歩避難者の避難経路を考えると、徒歩避難者は歩道が設けられている道路では歩道を通り、歩道が設けられていない道路では路肩等を歩行することが想定されることから、妥当性確認では、歩行者は全ての道路について左側も右側も 2 列歩行が可能であるものとして行う。

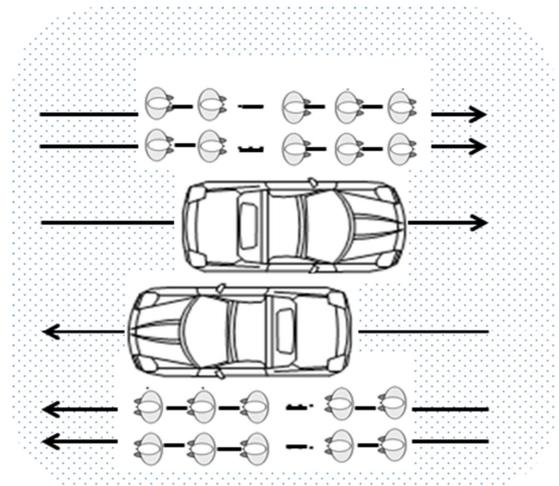


図 3.4.2 各道路の想定

(車道 : 片側 1 車線, 歩道 : 両側 2 列歩行可)

② 交差点における信号の想定

対象地域の主要な交差点には信号機が設置されているが、妥当性確認はこれらの信号機はすべて地震による影響で停電し、機能しない状態を想定して行う。信号機が機能していない状況における各交差点での避難者の交通制御は各シミュレータの仕様に従う。なお、交通制御にルールを設けている場合はそのルールについても「2.3.検証手順」に従って検証を行うとともに、数値実験の結果を示す際に交通制御にルールを明記する。

(交差点制御ルールの例)

- ・交差点進入時に全車一時停止。先着車から順に交差点内へ進入。
- ・混雑時は海岸方面から高台方面に向かう車を優先。

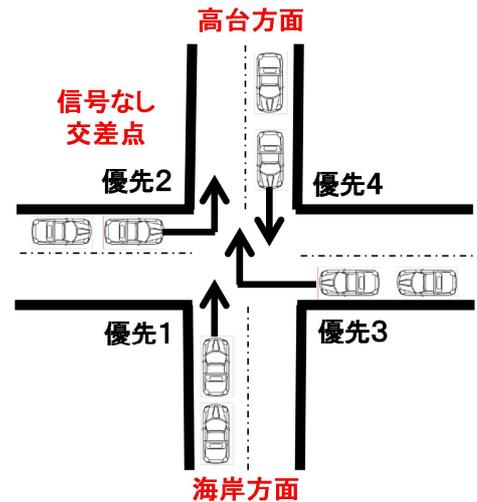


図 3.4.3 交差点制御ルールの例

3.4.2. 避難者の詳細設定

各避難シナリオについて、避難者数、発生地点、発生時刻、目的地、避難経路、避難速度の設定を示す。

① 避難者数

各シナリオの避難者数を以下の通りとする。なお、「シナリオ1：住民の徒歩避難」の避難者数のうち70%を一般者、30%を避難困難者として設定する。ただし、一般者と避難困難者の違いは歩行速度のみとし、避難困難者も自立歩行が可能で単独で避難できるものとする。（歩行速度の設定については「⑥移動速度」を参照のこと。）以下に各シナリオの避難者数の設定値を示す。

- シナリオ1：住民の徒歩避難、シナリオ2：住民の車両避難、シナリオ3：外出住民の車一時帰宅避難
- シナリオ1~3の徒歩避難者数と車両避難台数は表3.4.3に従う。ただし、避難者属性の比率を設定する仕様のシミュレータでは一般者と避難困難者の人数の内訳が必ずしも表3.4.3の数値と一致しなくてもよい。

表 3.4.3 住民の徒歩避難、住民の車両避難、外出住民の車一時帰宅避難のエリア別避難者数の設定

	シナリオ1：住民の徒歩避難			シナリオ2： 住民の車両避難	シナリオ3： 外出住民の車一時帰宅避難
	一般者（70%）	避難困難者（30%）	合計		
エリア1	207人	88人	295人	260台	65台
エリア2	262人	113人	375人	325台	85台
エリア3	105人	45人	150人	125台	35台
エリア4	210人	90人	300人	250台	85台
エリア5	231人	99人	330人	270台	100台
合計	1,015人	435人	1,450人	1,230台	370台

● シナリオ4：通過車の避難

起終点1, 4, 5から発生させる通過車の発生台数を表3.4.4に示す。なお、予め地震発生時に対象領域内の道路上に走行中の車両がいる状況を創出するために通過車は地震発生前から発生する。

表 3.4.4 通過車の発生台数の設定

	通過車発生台数		
	地震発生前	地震発生後	合計
車起終点 1	60 台	60 台	120 台
車起終点 4	240 台	240 台	480 台
車起終点 5	240 台 </td <td>240 台</td> <td>480 台</td>	240 台	480 台
合計	540 台	540 台	1,080 台

- シナリオ 5 : 大事業所からの避難
大事業所の従業員 1,300 人を避難者とする。

② 発生地点

図 3.4.4 に避難者の発生地点と道路ネットワークを重ねた図を示す。

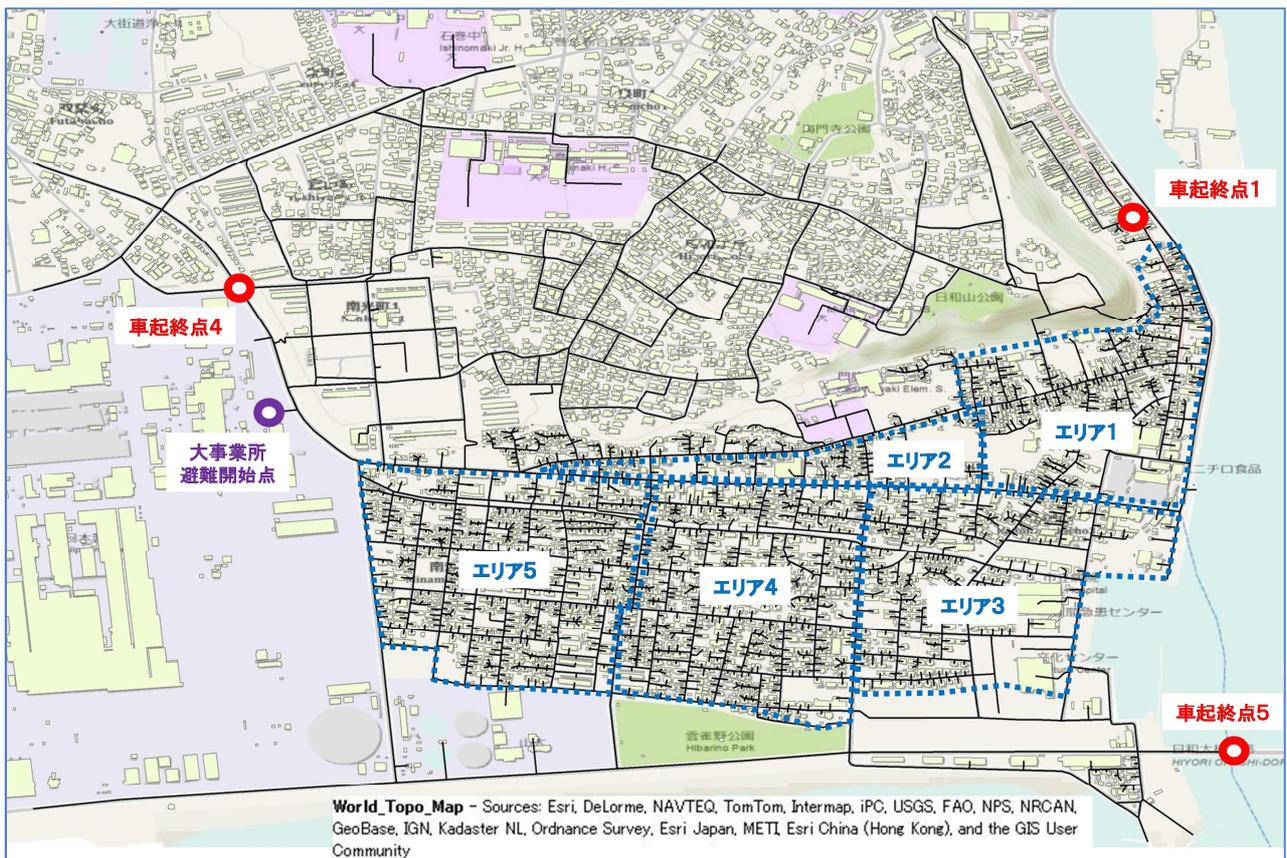


図 3.4.4 住民の発生エリア，通過車の発生地点，大事業所からの避難者の発生始地点

- シナリオ 1 : 住民の徒歩避難，シナリオ 2 : 住民の車両避難，シナリオ 3 : 外出住民の車一時帰宅避難
徒歩避難住民，車避難住民，一時帰宅避難住民は，図 3.4.4 に示されているエリア 1～エリア 5 の各エリア内から発生する（※各エリアの避難者人数については「①避難者人数」を参照）。個々の避難者の発生地点の

決め方はシミュレータの仕様に応じて設定する。数値実験の結果を示す際に個々の避難者発生地点の決め方を明記する。個々の避難者の発生地点の決め方としては、例えば、

- ・エリア内各建物の位置（他の道路と接続していない道路端）に避難者を初期配置する
- ・エリアの道路上に避難者をランダムに初期配置する
- ・エリア内にランダムに避難者を初期配置し、直近の道路に向かうようにする

といった方法が考えられる。

一時帰宅避難住民については、外出先から帰宅する行動は再現せず、自宅から避難する行動のみを再現するため、発生地点の設定は車避難住民と同様に設定してよい。

● シナリオ4：通過車の避難

通過車は車起終点1, 4, 5から発生する。

● シナリオ5：大事業所からの避難

大事業所従業員は大事業所避難開始点（道路端）から発生する。

③ 発生時間

● シナリオ1：住民の徒歩避難，シナリオ2：住民の車両避難

「シナリオ1：住民の徒歩避難」と「シナリオ2：住民の車両避難」では、図3.4.5の避難開始時間分布Aに従って各避難者の発生時間を設定する。

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

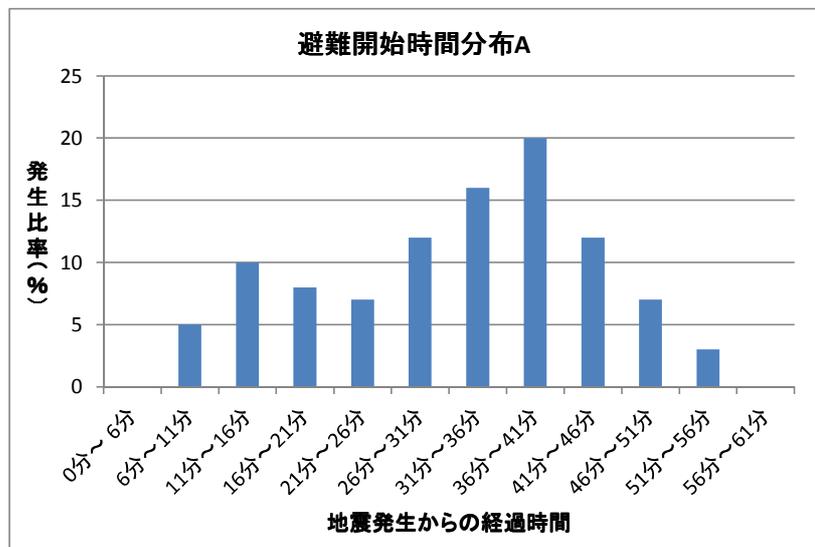


図 3.4.5 シナリオ1：住民の徒歩避難，シナリオ2：住民の車両避難の避難開始時刻分布の設定

● シナリオ3：外出住民の車一時帰宅避難

「シナリオ3：外出住民の車一時帰宅避難」では、図3.4.6の避難開始時間分布Bに従って、各避難者が自宅から発生する時間を設定する（※外出先から帰宅を始める時間ではないことに注意）。

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

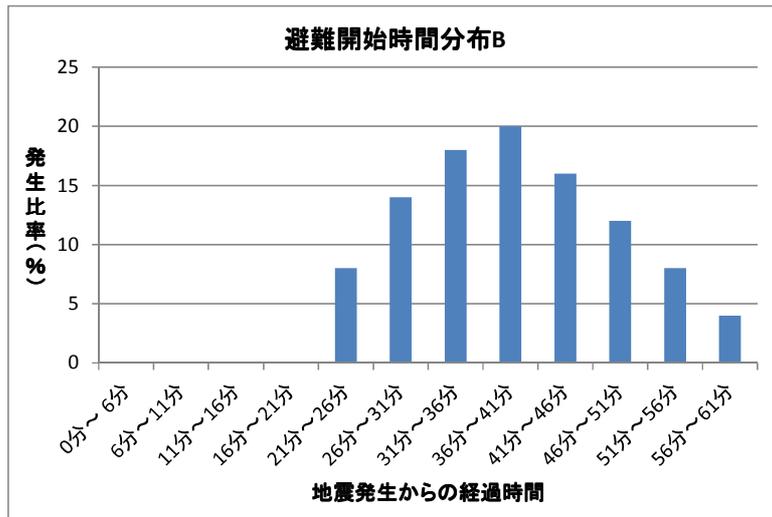


図 3.4.6 シナリオ 3 : 外出住民の車一時帰宅避難の自宅からの避難開始時刻分布の設定

● シナリオ 4 : 通過車の避難

通過車の発生時間は地震発生 20 分前から地震発生 20 分後までの 40 分間とする。発生間隔は一定とし、車起終点 1 は 20 秒間隔、車起終点 4 と車起終点 5 はともに 5 秒間隔とする。

● シナリオ 5 : 大事業所からの避難

大事業所からは地震発生 15 分後から 1 秒間隔で一人ずつ発生する。

④ 目的地

避難者の目的地を道路ネットワーク上に図示する。

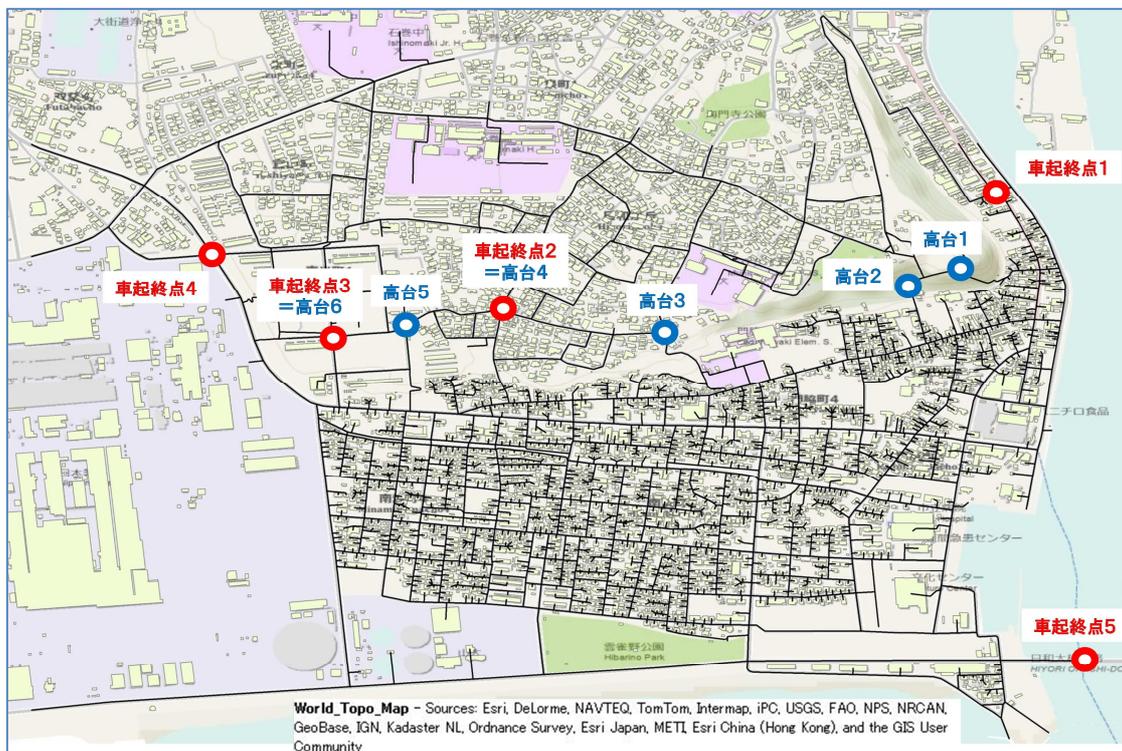


図 3.4.7 目的地 (車起終点 2 と高台 4 は同じ, 車起終点 3 と高台 6 は同じ)

- シナリオ 1：住民の徒歩避難

高台 1～高台 6 のいずれかを目的地とする。個々の避難者が目指す高台の決め方はシミュレータの仕様に合わせて設定する。ただし、高台の選択が非現実的なものとならないように配慮すべきである。例えば、エリア 3 から発生した避難者が高台 6 を目指す、エリア 5 から発生した避難者が高台 1 を目指すといったことは現実的ではない。数値実験の結果を示す際に個々の避難者が目指す高台の決め方を明記する。個々の避難者が目指す高台の決め方としては、例えば、

- ・発生地点の最寄りの高台を目指すようにする
- ・エリア単位で目指す高台を設定する
- ・各エリアに対して目指す高台をいくつか設定し、エリア内の各避難者に確率的に選択させる

といった方法が考えられる。

- シナリオ 2：住民の車両避難、シナリオ 3：外出住民の車一時帰宅避難

「シナリオ 2：住民の車両避難」と「シナリオ 3：外出住民の車一時帰宅避難」は各エリアから車起終点 2 と車起終点 3 に 50%ずつ避難するように設定する。

- シナリオ 4：通過車の避難

- ・車起終点 1 から発生した通過車の目的地は車起終点 4 とする。
- ・車起終点 4 から発生した通過車の目的地は車起終点 1 とする。
- ・車起終点 5 から発生した通過車の目的地は車起終点 4 とする。

- シナリオ 5：大事業所からの避難

大事業所から避難する従業員の目的地は高台 6 とする。

なお、数値実験で目的地としている高台 1～6 および車起終点 2, 3 の地点は、当該地区の住民等の避難場所ではなく、避難場所に向かう際にボトルネックとなる急勾配の坂道および階段を上りきった地点である。つまり、高台 1～6 および車起終点 2, 3 に到着した避難者はその場に滞留するのではなく、さらに内陸側に移動する。よって、数値実験では各目的地に滞留可能者数、収容可能人数、駐車可能台数といった制約は設けない。参考までに、2011 年 3 月 11 日の津波避難行動における住民等の避難場所を図 3.4.8 に示す。

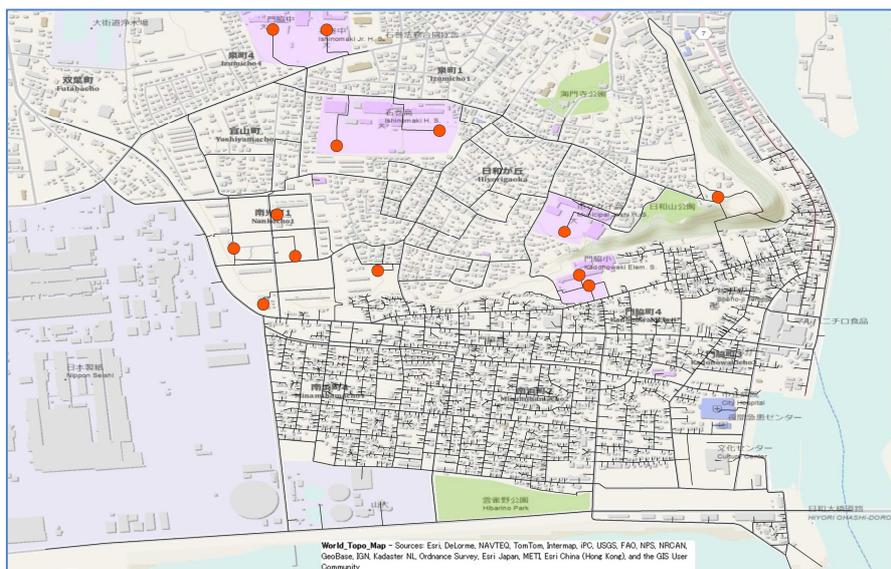


図 3.4.8 参考：住民の避難場所（橙丸）

⑥ 移動速度

他者の影響を受けることなく路面状態の良い水平な道路を直進するときの移動速度を自由歩行速度（徒歩の場合）、または自由走行速度（車の場合）と呼ぶ。自由歩行速度および自由走行速度は原則として2章で検証された値を用いる。また、2章の「避難路の状態が移動速度に与える影響」「避難者と周囲との干渉」で検証された方法を用いて自由歩行速度および自由走行速度からの速度減を表現する。

表 3.4.5 に徒歩避難者の自由歩行速度と車両避難者の自由走行速度の設定値を示す。

表 3.4.5 自由歩行速度と自由走行速度の設定値

徒歩避難者の 自由歩行速度	シナリオ 1：住民の徒歩避難（健常者）	1.3m/s
	シナリオ 5：大事業所からの避難	
車避難者の 自由走行速度	シナリオ 1：住民の徒歩避難（避難困難者）	1.0m/s
	シナリオ 2：住民の車両避難	40km/h
	シナリオ 3：外出住民の車一時帰宅避難 シナリオ 4：通過車の避難	

図 3.4.10 に示す通り、高台 1 から高台 6 に続く道路には、急勾配の坂道または階段が含まれている。坂道での移動速度は「2.7. 避難路の状態が移動速度に与える影響」で検証された方法に従う。

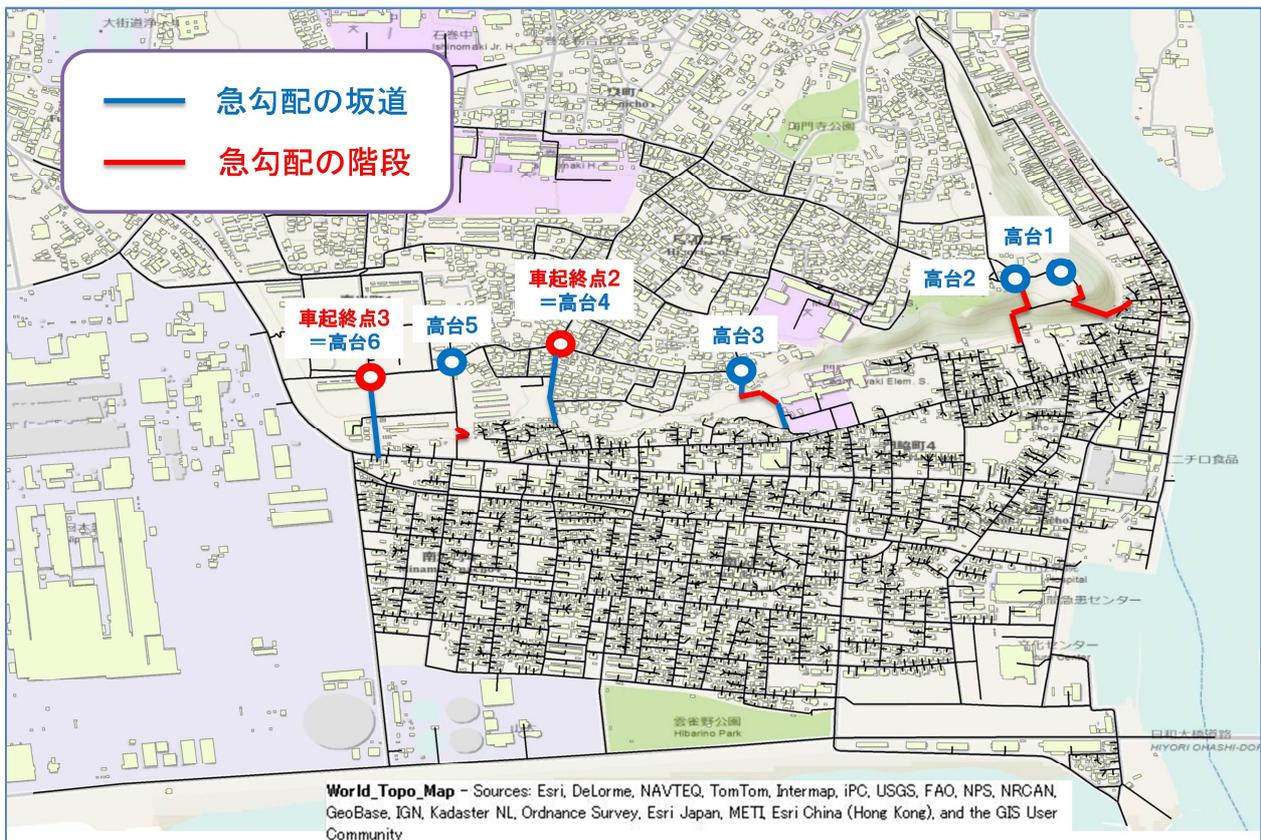


図 3.4.10 高台に続く急勾配の坂道（青線）と階段（赤線）

なお、坂道や階段での歩行速度、走行速度を明示的に指定する必要があるシミュレータについては、表 3.4.6 に示す値を用いる。ただし、シミュレータの仕様で坂道や階段での歩行速度、走行速度が予め決められているものについてはその値を用いても良い。その場合、数値実験の結果を示す際に設定値を明記する。

表 3.4.6 急勾配の坂道・階段における歩行速度と走行速度の設定値

急勾配の坂道と階段における歩行速度	シナリオ 1：住民の徒歩避難（健常者）	1.0m/s
	シナリオ 5：大事業所からの避難	
急勾配の坂道における車避難者の走行速度	シナリオ 1：住民の徒歩避難（避難困難者）	0.4m/s
	シナリオ 2：住民の車両避難	10km/h
急勾配の坂道における車避難者の走行速度	シナリオ 3：外出住民の車一時帰宅避難	
	シナリオ 4：通過車の避難	

⑦ 渋滞の創出

本数値実験では、原則として目的地に到着した避難者は避難完了とみなし、他の避難者に影響を及ぼすことはないものとする。しかし、実際には本数値実験における各目的地の先にも道路は続いており、目的地より先で道路渋滞が発生していた場合には、目的地に到着していない避難者の避難に影響を及ぼすことも想定される。実際、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の直後の避難に関するヒアリング調査結果によると車起終点4より先で発生した道路渋滞が対象地域にまで及んでいたという。以上のことを踏まえ、本数値実験では、地震発生20分後以降に車起終点1および車起終点4で条件設定として渋滞を創出することとする。渋滞創出のための設定は各シミュレータの仕様に合わせて行い、渋滞創出方法や設定値は数値実験の結果を示す際に明記する。

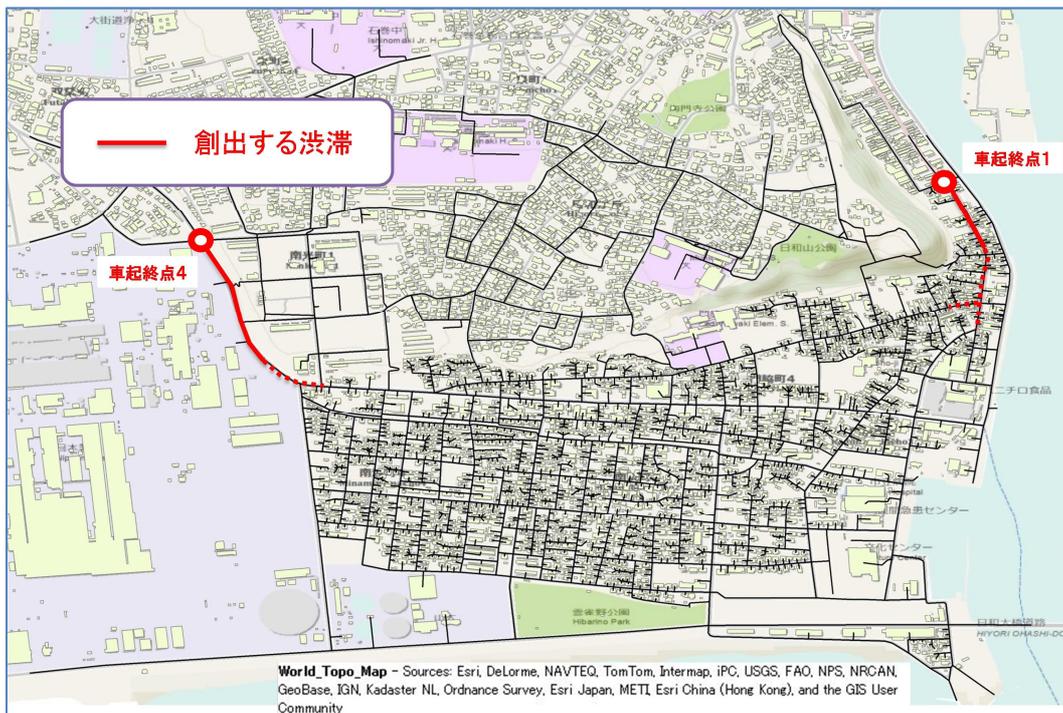
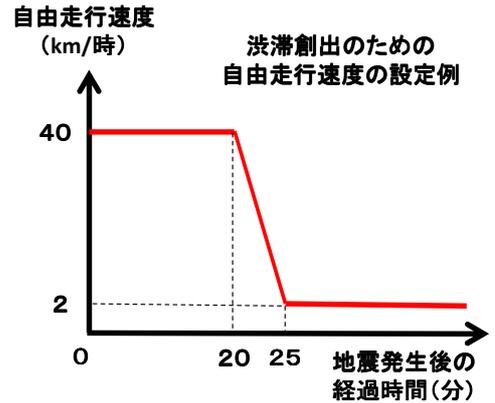


図 3.4.11 創出する渋滞（赤線、赤破線）

渋滞の創出方法としては、例えば、

- ・ 車起終点 1, 4 の手前の道路の自由走行速度を 2 km/h 程度に規制する
 - ・ 車起終点 1, 4 の手前にゲートなどを設け、処理能力を 10 秒/台 程度に設定（全車両一旦停止）する
 - ・ 車起終点 1, 4 で単位時間当たりの通過台数（流量）を計測し、流量を 6 台/分程度に規制する
- などの方法などが考えられる。



避難者の詳細設定の一覧を表 3.4.7 に示す。

図 3.4.12 渋滞創出のための自由走行速度の設定例

表 3.4.7 避難者設定一覧

NO	シナリオ	発生地点・エリア	徒歩人数・車台数	避難開始・発生時間	避難先・行先	避難経路	移動速度
1	住民の徒歩避難 1,450人 ・ 健全者：70%、避難困難者：30% ・ 各街区エリア内から発生 ・ 避難開始時刻分布Aに従って避難開始 ・ 高台1～高台6のいずれかに避難	エリア 1	295人	避難開始時間分布Aに従って避難開始	各街区エリアから高台1～高台6のいずれかに避難	シミュレータの仕様に従い避難先の高台と避難経路を設定（選択、探索）する	健全者：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				
	備考欄		健全者：70% 避難困難者：30%			坂道・階段では減速 他者との干渉を考慮	
2	住民の車両避難 1,230台 ・ 各街区エリア内から発生 ・ 避難開始時刻分布Aに従って避難開始 ・ 各街区エリアから車起終点2, 3に50%ずつ避難	エリア 1	260台	避難開始時間分布Aに従って避難開始	各街区エリアから車起終点2に50% 車起終点3に50%の割合で避難	シミュレータの仕様に従い避難経路を設定（選択、探索）する	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				
	備考欄				一方通行を考慮する	坂道では減速 他者との干渉を考慮	
3	外出住民の車一時帰宅避難 370台 ・ 各街区エリア内から発生 （自宅へ立寄り挙動は再現せず） ・ 避難開始時刻分布Bに従って避難開始 ・ 各街区エリアから車起終点2, 3に50%ずつ避難	エリア 1	65台	避難開始時間分布Bに従って避難開始	各街区エリアから車起終点2に50% 車起終点3に50%の割合で避難	シミュレータの仕様に従い避難経路を設定（選択、探索）する	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				
	備考欄				一方通行を考慮する	坂道では減速 他者との干渉を考慮	
4	通過車の避難 540台（地震発生後発生台数） ・ 地震発生20分前から地震発生20分後まで 車起終点1, 4, 5から指定時間間隔で発生。 ・ 地点Aを経由して各発生点に指定した行先に移動	車起終点 1	地震発生後 60台	20秒間隔で発生	車起終点 4	地点Aを経由する経路を設定する	40km/h
		車起終点 4	地震発生後 240台	5秒間隔で発生	車起終点 1		
		車起終点 5	地震発生後 240台	5秒間隔で発生	車起終点 4		
			備考欄	地震発生前からの発生台数はそれぞれ2倍になる	地震発生20分前から発生する		
5	大事業所からの避難 1,300人 ・ 大事業所避難開始地点から高台6に避難 ・ 地震発生15分後から1秒間隔で発生	大事業所避難開始点	1,300人	地震発生15分後から1秒間隔で発生	高台 6	シミュレータの仕様に従い避難経路を探索、設定する	1.3m/s
			備考欄				坂道・階段では減速 他者との干渉を考慮

3.4.3. 数値実験結果の出力設定

数値実験の結果は以下に示す数値データを CSV 形式等のファイルで出力する。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する。また、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ることが望ましい。

① シナリオ別の避難完了時間、平均避難所要時間

各シナリオの避難者の中で、目的地に最後に避難者の到着した時間を地震発生後の経過時間で表した値（避難完了時間）と、各避難者について目的地到着時間から避難開始時間を差し引いた値の平均値をシナリオ別に集計した値（平均避難所要時間）出力し、一覧表にまとめる。なお、最終避難完了時間、平均避難所要時間は発地点・エリア別に集計することが望ましい。表 3.4.8 に結果の一覧表の例を示す。

表 3.4.8 シミュレーション結果①（シナリオ別の避難完了時間、平均避難完了時間）の一覧表（例）

NO	シナリオ	設定条件		シミュレーション結果	
		発地点・エリア	徒歩人数・車台数	避難完了時間	平均避難所要時間
1	住民の徒歩避難 1,450人 ・健全者：70%、避難困難者：30% ・各街区エリア内から発生 ・避難開始時刻分布Aに従って避難開始 ・高台1～高台6のいずれかに避難	エリア1	295人	分	分
		エリア2	375人	分	分
		エリア3	150人	分	分
		エリア4	300人	分	分
		エリア5	330人	分	分
2	住民の車両避難 1,230台 ・各街区エリア内から発生 ・避難開始時刻分布Aに従って避難開始 ・各街区エリアから車起終点2,3に50%ずつ避難	エリア1	260台	分	分
		エリア2	325台	分	分
		エリア3	125台	分	分
		エリア4	250台	分	分
		エリア5	270台	分	分
3	外出住民の車一時帰宅避難 370台 ・各街区エリア内から発生 (自宅へ立寄り挙動は再現せず) ・避難開始時刻分布Bに従って避難開始 ・各街区エリアから車起終点2,3に50%ずつ避難	エリア1	65台	分	分
		エリア2	85台	分	分
		エリア3	35台	分	分
		エリア4	85台	分	分
		エリア5	100台	分	分
4	通過車の避難 540台（地震発生後発生台数） ・地震発生20分前から地震発生20分後まで 車起終点1, 4, 5から指定時間間隔で発生。 ・地点Aを経由して各発地点に指定した行先に移動	車起終点1	地震発生後 60台	分	分
		車起終点4	地震発生後 240台	分	分
		車起終点5	地震発生後 240台	分	分
5	大事業所からの避難 1,300人 ・大事業所避難開始地点から高台6に避難 ・地震発生15分後から1秒間隔で発生	大事業所避難開始点	1,300人	分	分

② 目的地別の避難完了時間，各目的地に避難した避難者数

各目的地（高台1～高台6，および車起終点1～4）について，最後の避難者が到着した時間（避難完了時間）と各目的地に到着した避難者数を出力し，一覧表にまとめる．避難完了時間は地震発生からの経過時間とする．表 3.4.9 に結果の一覧表の例を示す．

表 3.4.9 シミュレーション結果②（目的地別の避難者数と避難完了時間）の一覧表（例）

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

③ 1分毎の避難完了者数の推移

目的地別，シナリオ別，避難手段・発生地点別に地震発生から1分毎の避難完了者数を計測した値を出力し，グラフを作成する．図 3.4.13～16 に各グラフの出力例を示す．

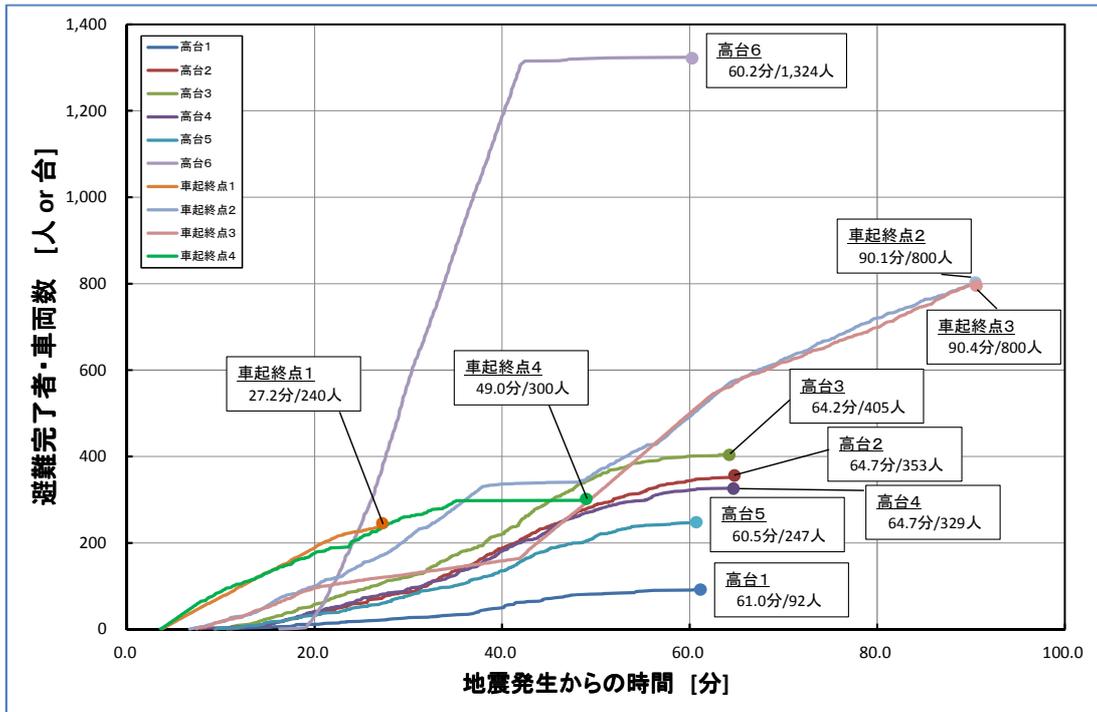


図 3.4.13 目的地別避難完了者数推移グラフ（例）

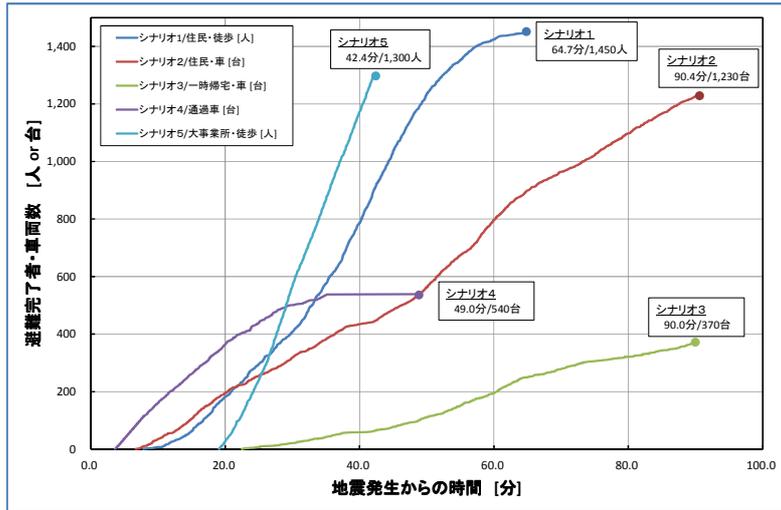


図 3.4.14 シナリオ別避難完了者数推移グラフ (例)

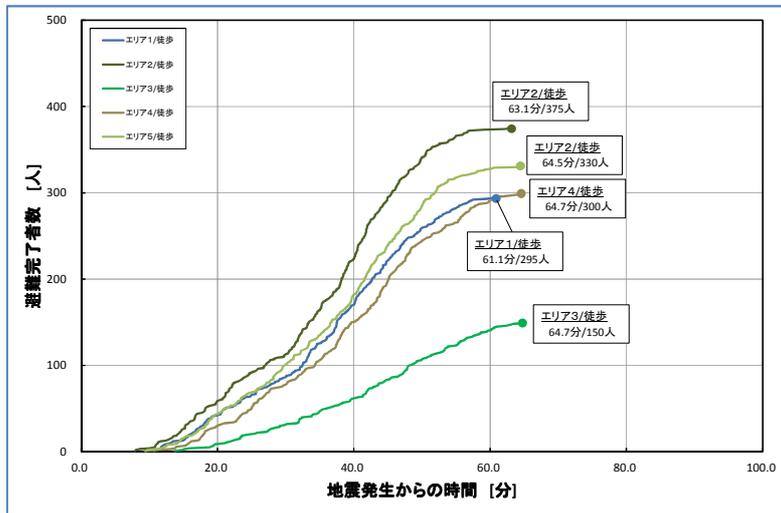


図 3.4.15 徒歩避難者の避難開始エリア別避難完了者数推移グラフ (例)

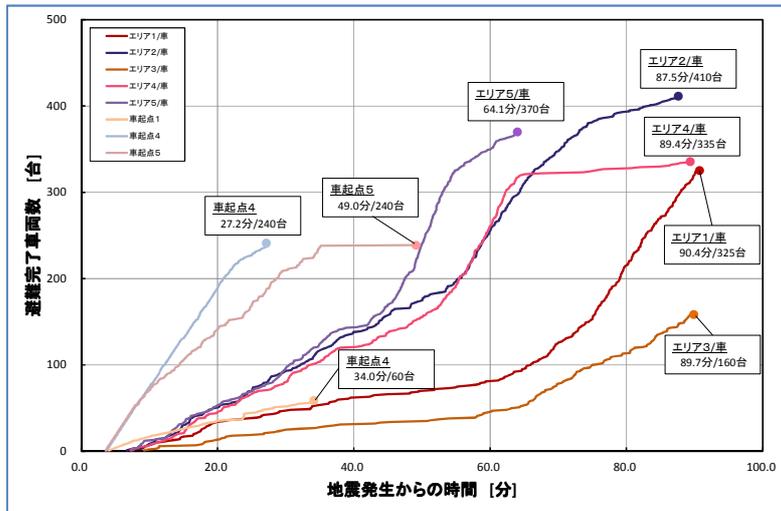


図 3.4.16 車両避難者の避難開始エリア別避難完了者数推移グラフ (例)

3.4.4. オプション

避難路・避難者の上記の設定以外に、津波避難シミュレーションデルに独自の機能がある場合、これをオプションとして設定することができる。設定に際しては、まず、「2.3.検証手順」に準拠して、独自の機能の検証をすることが必要である。

独自の機能の例として次のような機能が考えられる。

- ① 地震による道路被害を想定して通行不能道路を設け、通行不能道路に遭遇した避難者が迂回路を探索する機能
- ② 避難路の混雑状況に応じて、避難経路や目的地を変更する機能
- ③ 目的地である避難施設（駐車場）が満員（満車）だったときに他の避難施設に再避難する機能

ただし、独自機能を表現するために、「3.4. 設定条件についての詳細説明」に指定されていない条件を別途設定する必要がある場合には、一度「3.4. 設定条件についての詳細説明」の設定条件に従い独自機能を用いない数値実験を行ってその結果を提示し、次に追加の条件を設けて独自機能を用いた場合の数値実験を行ってその結果を提示することが望ましい。

3.5. 妥当性確認項目

妥当性確認項目は「3.4.3. 数値実験結果の出力設定」で示した各出力データである。表 3.4.8, 表 3.4.9, 及び図 3.4.13~16 のフォーマットを参考に表, グラフとして整理する。また、避難の様子を可視化したアニメーション, スナップショット等が出力できる場合には、これを出力する。

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。また、シミュレータの仕様に合わせて設定することになっている下記の項目について、設定方法や設定値の説明資料を添付する。

- 交差点の制御ルールと交差点の制御のための設定値
- エリア内における個々の避難者の発生地点の決定方法
- 住民の徒歩避難において個々の避難者が目指す高台の決定方法
- 避難経路の設定・選択方法
- 急勾配の坂道・階段における徒歩避難者の歩行速度と車両の走行速度の設定値や制御方法
- 車起終点 1 と車起終点 4 における渋滞の創出方法

3.6. 結果の評価

数値実験の結果を図と表として掲載し、参照解として提示された図と表と、およそ倍半分の精度で一致することを確認する。

4. 管理方法の検討

- 業務フロー：各シミュレータの募集，受付，審査，登録，維持
- 情報発信：広報，シンポジウム，論文発表
- 体制（会員への業務委託）：実務対応（問い合わせ，技術対応，内容更新）

5. 小委員会メンバー，役割分担

- 堀 宗朗（東京大学地震研究所）：小委員長，機能項目や検証数値の設定，保有モデルでの検証
- 末松孝司（東京工業大学大学院総合理工学研究科）：小委員長補佐，機能や検証項目の整理
- 奥村与志弘（京都大学大学院工学研究科）：機能や検証項目の整理，保有モデルでの検証
- 池田浩敬（富士常葉大学大学院環境防災研究科）：機能や検証項目の整理，保有モデルでの検証
- 荒木秀朗（株式会社構造計画研究所）：Verification 仕様案策定，保有モデルでの検証
- 森 俊勝 同上
- 志村泰知 同上
- 坂平文博 同上
- 山田武志（株式会社ベクトル総研）：Validation 仕様案策定，保有モデルでの検証
- 印南潤二 同上
- 川田祐介 同上
- 山下倫央（産業技術総合研究所）：機能や検証項目の整理，保有モデルでの検証
- 佐藤誠一（日本工営株式会社 地盤環境部）：Validation データ編集
- 照本清峰（和歌山大学防災研究教育センター）：Validation データ編集
- ユンナミ（早稲田大学大学院院生）：Validation データ編集
- 後藤洋三（東京大学地震研究所）：委員長，本 WG 助言，他 WG との調整，所轄機関への提言

参考：交通シミュレーション クリアリングハウス（交通工学研究会 HP より引用）

1) Specification …(モデル仕様の決定)
 2) Modeling …(モデル動作原理の考案)
 3) Implementation …(プログラミングとデバッグ)
 4) Verification …(仮想データによる検証)
 5) Validation …(実測データによる検証)

交通工学研究会では、交通流シミュレーションモデルの開発は左図のような**標準開発プロセス**を経ることを推奨しています。この標準開発プロセスでは、モデルの性能を検証する過程およびその結果を公開することに重点が置かれています。

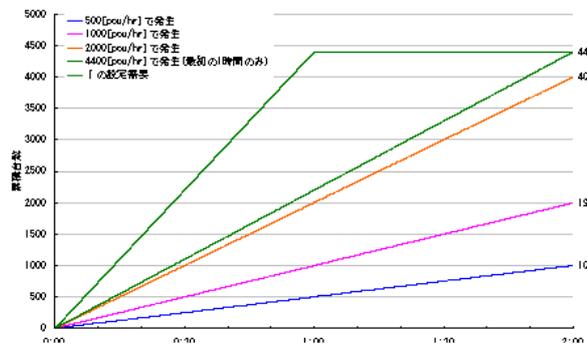
実用検証(validation)は、実際の交通状況をシミュレーションがどれくらい妥当に再現するかを示すプロセスです。これは、仮想データを使って、モデルが考慮している交通現象ごとに再現性を評価する「基本検証(verification)」の次に位置づけられています。つまり、基本検証で再現性が示されていることは必要不可欠な条件であるが、さらに、それらの現象が複雑に影響しあっていると考えられる現実の交通状況に適用して、その能力を見極める必要があるという意図を持ったものです。

これまで実データを用いた検証の重要性は認識されてきましたが、検証に十分な精度を持ったデータを用意することは大きな労力と費用を要し、十分な検証ができないというジレンマがありました。このため、交通工学研究会では、検証に必要な精度と信頼性を備えたデータを保有している各機関に協力を依頼して、シミュレーション開発者が利用できる**ベンチマークデータセット**を公開しています。このベンチマークデータセットを共通の土俵として、様々なモデルの検証結果を評価することは、シミュレーションの能力を明らかにし、それが普及につながっていくものと考えています。

Verification 項目 1：車両の発生



図2: 交通量の発生検証用データ設定(2)



Verification 項目 2：ボトルネック容量の検証

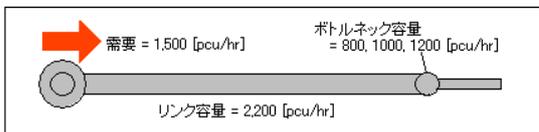
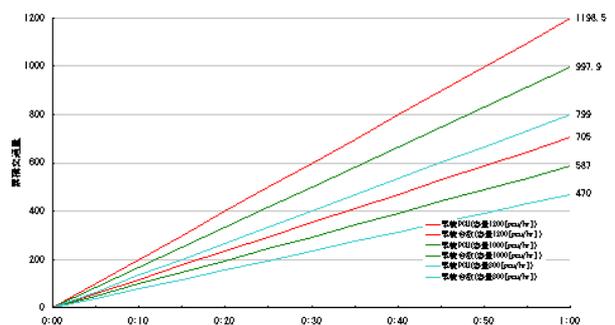


図9: 単路部ボトルネック容量検証での設定



Verification 項目 3：合流部容量の検証

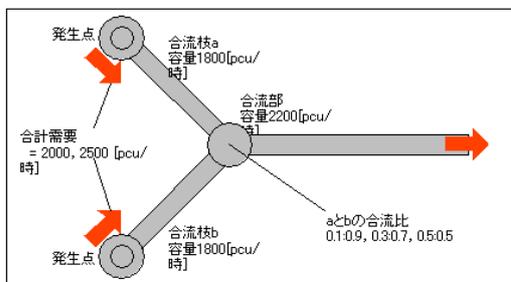


図80: 合流部の容量検証用データ設定

