

第 4 章

西日本大震災発生時の津波襲来地域での 被害軽減に向けた取り組み

駿河湾奥部に始まり、東海沖、南海沖をたどって、琉球列島東方沖に達する南海トラフは、フィリピン海プレートとユーラシアプレートのプレート境界である。南海トラフ沿いでは、東海地震、東南海地震、南海地震という M8 クラスの巨大地震が 100 年から 150 年くらいの間隔で繰り返し起こっており、その度に太平洋沿岸部には津波が襲来し、大きな被害をもたらしてきた。

表 1 は、過去に南海トラフ沿いを震源域として発生したと伝えられる地震の概要を整理したものである[1]。南海地震は、東海地震ならびに東南海地震とほぼ同時に発生するケースが多く、西日本の広い範囲にわたって被害が発生する可能性が指摘されている。

資料等の記録が比較的多く残されている宝永地震、安政南海地震、昭和南海地震の各地震の概要は以下の通りである。

(1) 宝永地震

宝永 4 年（1707 年）10 月 28 日に発生した宝永地震は、わが国最大級の地震の一つであり、遠州灘沖から紀伊半島沖にかけての東海、東南海、南海の各地震が連動して発生したと考えられている。この地震による全体の死者数は 5049 人、倒壊家屋数は 59,272 棟、破損および半壊家屋数は 42,676 棟、流失家屋数は 18,025 棟であったとされる。

(2) 安政南海地震

安政東海地震が起きてから約 32 時間経過した、嘉永 7 年（1854 年）12 月 24 日の 17 時ころ、紀伊半島西部から四国の南方海域を震源とする安政南海地震が発生した。

(3) 昭和南海地震

昭和 21 年（1946 年）12 月 21 日の午前 4 時 19 分ころ、潮岬の南南西 78km の沖合、深さ約 24km の海底を震源として発生した地震は、昭和南海地震と呼ばれる。被害は中部地方か

ら九州地方にまで及んでおり、全体の死者数は 1,330 人、全壊家屋数は 11,591 棟、半壊家屋数は 23,487 棟、流出家屋数 1,451 棟、焼失家屋数は 2,598 棟であったとされる。

表 1 過去に南海トラフ沿いを震源域として発生した地震

南海地震	東南海地震	東海地震
白鳳地震 (684 年 11 月 29 日, M8.3)	南海地震と連動の可能性	南海地震と連動の可能性
仁和地震 (887 年 8 月 26 日, M8.0~8.5)	-	-
康和地震 (1099 年 2 月 22 日, M8.0~8.3)	永長地震 (1096 年 12 月 17 日, M8.0~8.5)	南海地震と連動の可能性
正平地震 (1361 年 8 月 3 日, M8.3~8.5)	-	-
東海・東南海地震と連動の可能性	明応地震 (1498 年 9 月 20 日, M8.2~8.4)	
	慶長地震 (1605 年 2 月 3 日, M7.9)	
	宝永地震 (1707 年 10 月 28 日, M8.6)	
安政南海地震 (1854 年 12 月 24 日, M8.4)	安政東海地震 (1854 年 12 月 23 日, M8.4)	
昭和南海地震 (1946 年 12 月 21 日, M8.0)	昭和東南海地震 (1944 年 12 月 7 日, M7.9)	-

2012 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震は、M9.0 という、これまでの想定をはるかに上回る規模で発生し、東日本を中心に甚大な被害をもたらした。この地震を契機として、「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委員会」が中央防災会議の下に設けられ、同地震による被害状況の分析と、今後の対策について検討が進められた。2011 年 6 月の同専門委員会による中間とりまとめでは、「今後、地震・津波の想定を行うにあたっては、これまでの考え方を改め、津波堆積物調査などの科学的知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」との提言が発表された。これを受け、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が新たに設けられ、西日本に大きな被害をもたらすと考えられている南海トラフ沿いを震源とする地震の想定の見直しが行われることとなった。

南海トラフ沿いを震源域とする地震については、従来から中央防災会議によって検討が進められ、2003 年には、東海・東南海・南海の三連動地震が M8.7 の規模で発生した場合の想定結果が公表されている。しかし、同想定は、18 世紀以降の直近の 5 つの地震（1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1854 年安政南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震）の被害記録を再現できるように作成された地震モデルに基づくものである。従来の想定が、今後発生する可能性のある最大規模の地震・津波であるとは限らないことから、同検討会では、古文書等の史料の分析だけでなく、津波堆積物調査、海岸地形等の調査を踏まえて、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの地震・津波」を想定する作業を

進めている[2,3]. こうした想定の見直し結果は 2012 年度中に公表される見込みとなっている.

従来, 地方自治体の被害想定ならびに防災計画は, 中央防災会議の想定に準ずる形で作成されてきた. 今回の中央防災会議による想定見直しを受け, 今後は, 関連する自治体の被害想定ならびに防災計画の再検討も進んでいくものと見られている. 中には, いつ発生するか分からない巨大地震への備えを早急に整えるべく, 非常な危機感を持って取り組みを始めている自治体も少なくない. 例えば, 徳島県は, 中央防災会議の想定発表を待たずに, 独自に実施した津波高暫定値想定の結果を 2011 年 12 月に公表し, 県民や県下の自治体に対して緊急性の高い対策への取り組みを呼びかけている[4].

4.2 徳島県 M 町

徳島県 M 町は, 平成 18 年に隣接する H 町と Y 町が合併して誕生した. M 町の総面積は 140.85km^2 で, このうち 125.18km^2 (89%) は森林と, ほとんどが山地である. ただし, 町域は東西方向に細長く, 南東方面は太平洋に面して大きく開けている. こうしたことから, もともと漁業を主要産業として栄えてきたが, 現在は高齢化ともに人口減少が進んでいる. 昭和 60 年 (1985 年) の時点で 1 万 1 千人あった人口は, 平成 24 年 (2012 年) の時点で 8 千人程度となっている.

現在の M 町は, 旧 H 町の中心部 (以下, H 地区) と旧 Y 町の中心部 (以下, Y 地区) に比較的大きな人口の集積がある. 写真 1 は, このうち H 地区を, 標高 64m の城山の山頂から撮影したものである. H 地区は, H 川と O 川が合流して太平洋に流れ込む場所に位置しており, 低層の家屋が密集して市街地を形成している. このうち H 地区の津波避難安全性の検証と, 今後の取り組みについて検討を加える.



写真 1 M 町 H 地区の様子

4.2.1 過去の被災履歴

(2) M町における想定見直しの影響

徳島県による暫定的な想定では、中央防災会議による東海・東南海・南海の三連動地震の津波波源モデルを基本としながらも、東北地方太平洋沖地震の検証結果を踏まえて、津波波源域を拡大し、海溝軸側のすべり量を増やした波源モデル（M9.0）を用いて津波シミュレーションを行っている。平均すべり量を2倍とした基本モデルによる想定津波高は、

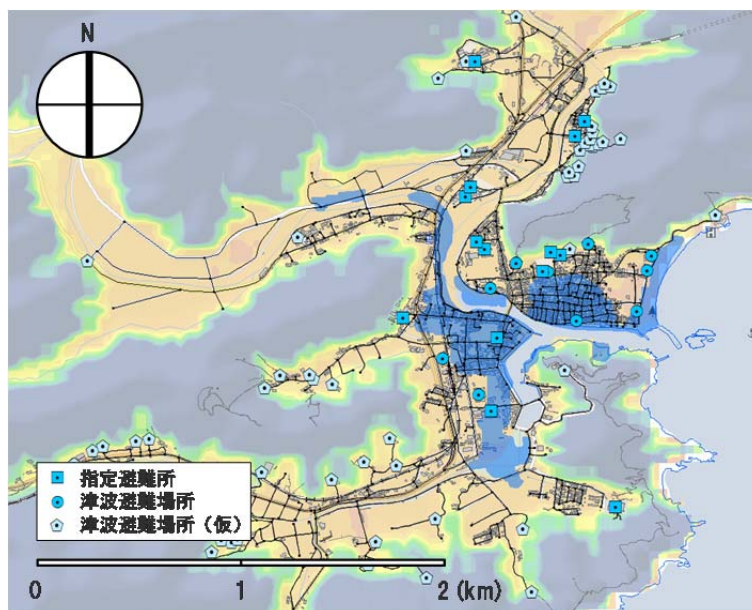


図1 2003年想定に基づく津波浸水区域

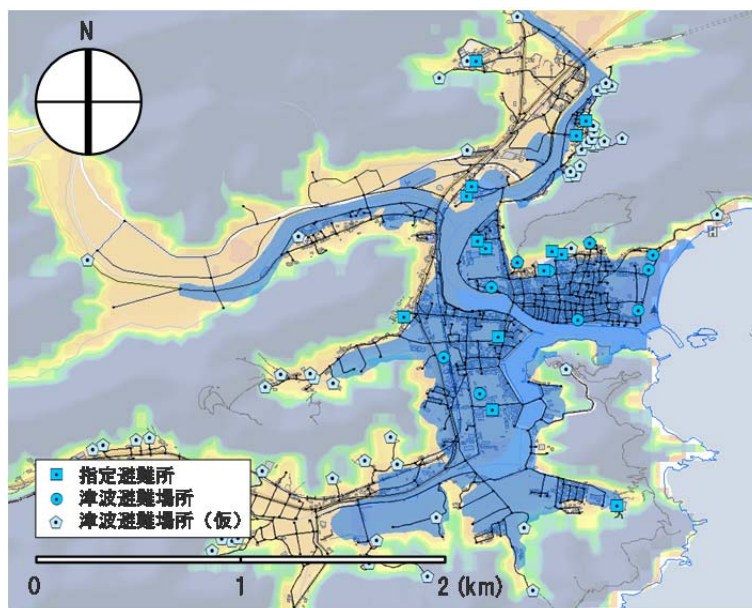


図2 2011年想定に基づく暫定津波浸水区域

県北部で従来の 1.0～1.3 倍，県南部で従来の 1.0～2.1 倍との結果が得られている。

さて，徳島県の検討によると，M 町で想定される津波浸水区域も大きく変わることとなった。図 1 は 2003 年度の想定に基づく津波浸水区域，図 2 は 2011 年度の暫定的な想定に基づく新しい津波浸水区域を示している。2003 年度の想定では，河川流域内を除外して浸水区域が示されているため，2011 年度の想定に基づく津波浸水区域とそのまま比較することはできないが，それを差し引いたとしても津波浸水区域は大きく拡大していることが分かる。

表 2 は，想定見直しによる影響の一例を示したものである。津波浸水区域内の推定人口を比較すると，2003 年度の想定では全体の 28.6%であったのに対し，2011 年度の想定では全体の 57.2%と倍増している。ただし，H 地区内の人口分布は，2005 年度の国勢調査に基づいており，地区内にある建物の面積に応じて分布を割り振っている。また，避難所については，場所を特定できた 24 か所の指定避難所もしくは津波避難場所のうち，津波浸水区域内に含まれるものが，2003 年度の想定では 12.5%であったのに対し，2011 年度の想定では 50%と大きく増えている。

表 2 想定見直しの影響

	2003 年度想定	2011 年度想定
浸水区域内の推定人口	1,021 / 3,572 (28.6%)	2,044 / 3,572 (57.2%)
浸水範囲内の避難所数	3 / 24 (12.5%)	12 / 24 (50%)

図 3 は，避難が必要となる浸水区域内の住民に着目し，避難が必要となる人数と，最寄りの避難所までの避難距離の関係を整理したものである。ただし，津波浸水区域内にある避難所は，安全な使用に耐え得るか現時点では判断が難しいことから，避難先からは除外してある。これによると，2011 年度想定に基づく避難距離は全般的に長くなっているだけでなく，長距離の避難を余儀なくされる住民も一定数存在することが分かる。なお，中央

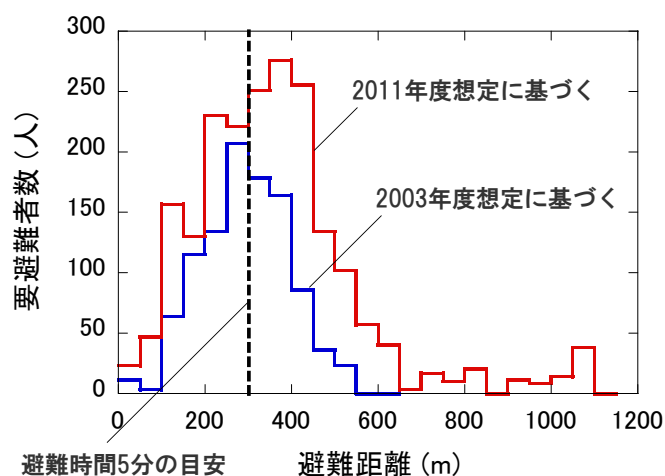


図 3 避難距離と要避難者数の関係

防災会議の下に設置された「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委員会」では、「津波到達時間が短い地域では概ね 5 分程度で避難が可能となるようなまちづくりを目指すべきである」との提言が出された[2]。そこで、歩行速度を 60m/分として、避難時間が 5 分となる避難距離 300m の位置に点線を記入した。2011 年度の想定では、要避難者数の半数以上が、避難時間 5 分以上となり、防災計画上の対応が必要とみなされることが分かる。

4.2.3 M 町 H 地区における津波危険度の評価

東日本大震災の発生や、国および県による津波被害想定の見直しを受け、今後、M 町の津波防災計画の見直しも進められていくものと考えられる。見直しにあたっては、複数ある津波防災対策案を比較検討しながら、より有効性の高い対策案を選択していく必要がある。そこで本稿では、簡易な津波避難モデルを構築することで、M 町における津波危険度の評価を行えるようにする。また、同モデルを活用することで、今後の津波防災計画のあり方について基礎的な検討を加える。

(1) 津波避難モデル

本モデルでは、個々の避難者の避難行動を、ノードとリンクで構成される道路ネットワーク上の離散的行動として時系列に予測する。

地震発生後、各住民は、津波浸水区域外にある避難ノードに向かって道路ネットワーク上の移動を始める。避難先の選択基準には、海岸との位置関係、避難先としての指定の有無、平時からの利用の有無など、いくつか考えられるが、ここでは簡単のため、地震発生時の住民の所在から最も近い避難ノードを避難先とみなすものとする。避難先は、避難計算を始める前にあらかじめ決定しておき、例えばリンクの混雑が激しくなったとしても変更されないものとする。

避難手段については、徒歩による避難と自動車を利用した避難を考える。通常、津波襲来時には徒歩による避難が推奨されているが、東日本大震災で自動車が使われる例が多かったことや、長距離の避難を余儀なくされる住民も一定数存在するためである。道路ネットワーク上の移動速度は、避難手段やリンク上の混雑状況に応じて決定される。

まず、徒歩の場合の移動速度は、既往の実験結果を参考にして導かれた次式により評価する[5]。

$$v = \begin{cases} 1.3 & (\rho < 0.64) \\ 1.48 - 0.28\rho & (0.64 \leq \rho < 5.3) \\ 0.1 & (5.3 \leq \rho) \end{cases} \quad [m/s] \quad (1)$$

ここで、 ρ は避難者のリンク内密度（人/m²）である。ただし、リンクの勾配については、

高低差に伴う移動距離の増加のみを考慮し、移動速度の変化については考えない。

次に、自動車を利用する場合の移動速度については、前走車の追従挙動を再現するために定式化された次の関係式[6]を用いて評価する。

$$a_1(t+T) = \alpha \frac{v_1(t)^m}{(x_0(t) - x_1(t))^n} (v_0(t) - v_1(t)) \quad [km/h^2] \quad (2)$$

ここで、 a は加速度、 v は速度、 x はリンク上の位置、 α 、 m 、 n は係数、下付きの0は前走車、同じく1は評価対象の自動車を表している。自動車を利用する場合も、歩行の場合と同様、リンクの勾配の影響は、高低差に伴う移動距離の増加によって評価する。なお、簡単のため、道路ネットワーク上の信号は、地震の影響により全て停止しているものと仮定する。また、本検討では、比較的小規模な市街地への適用を想定することから、走行中の車線変更は考えない。

(2) 想定見直しの影響

H地区の道路ネットワークおよび避難所の位置は、国土地理院によって提供される基盤地図情報に従って、図1、2に示すように設定した。ただし、津波避難にあたっては、自治体によって指定された指定先に避難する住民に加え、未指定ながらも津波が到達する恐れのない最寄りの高台に避難する住民もあるものと考えられる。そこで、2011年想定による津波浸水範囲の最高標高が10mであることを踏まえ、標高が10m以上のノードについても避難先となりうるものと仮定した。また、避難開始時間については、地区内に居住する全ての住民が、地震発生と同時に避難先に向けて移動を開始するものとする。

図4、5は、避難モデルによる、地震発生から5分後および10分後の避難状況を可視化したものである。ただし、避難先には、2011年度想定で津波浸水区域外にある避難ノードが設定されている。避難者が徐々に避難先に収容され、避難が完了していく様子が捉えられている。しかし本検討では、各住民の避難先を計算開始前にあらかじめ決定し、その後の経路変更はないものとしたため、いくつかのリンクには避難者が集中する状況となっている。

図6は、地震発生から避難完了までの、避難者数ならびに避難完了者数の時間変化を示したものである。これによると、2003年度想定下では18分で全住民の避難が完了していたものが、2011年度想定下では25分となっており、新しい想定の下では避難完了時間が延びる結果となった。地震発生から5分の段階で避難を完了していない住民の数は、2003年度想定下で739人、2011年度想定下で1,479人となった。

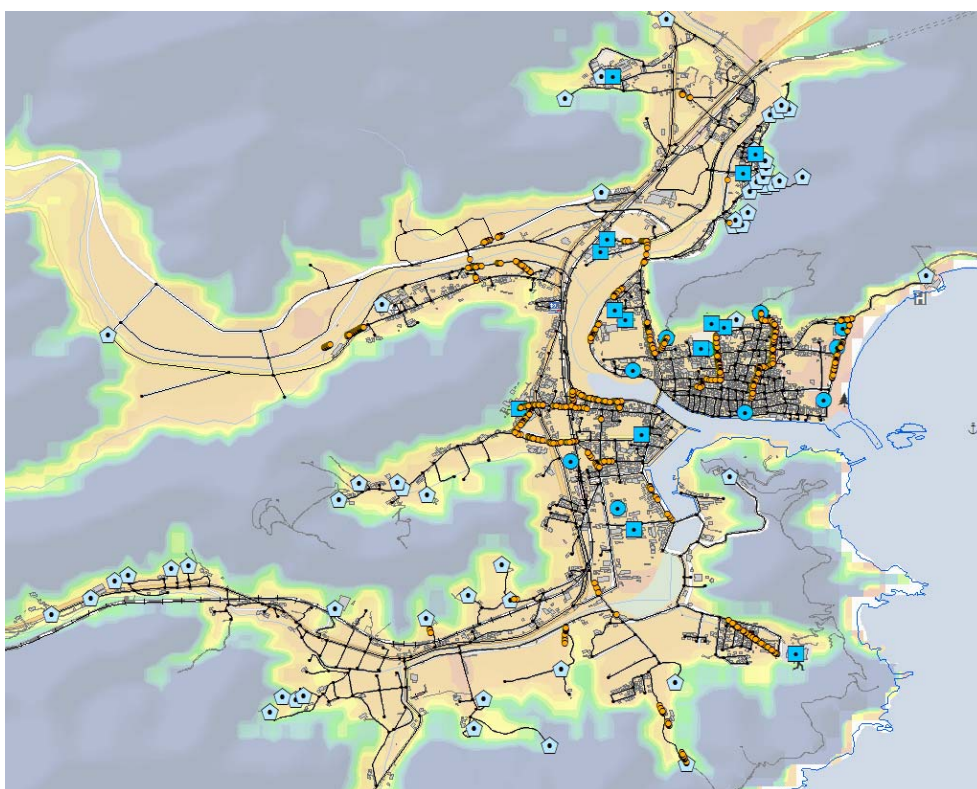


図4 避難シミュレーション結果（2011 年度想定，地震発生から 5 分後）

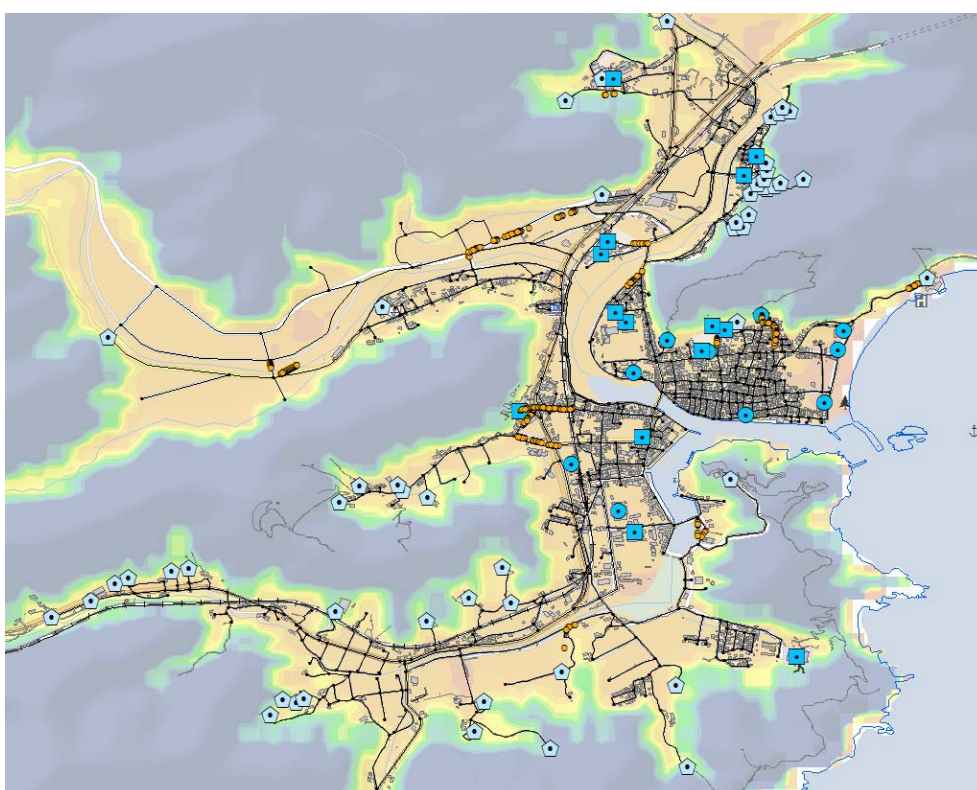


図5 避難シミュレーション結果（2011 年度想定，地震発生から 10 分後）

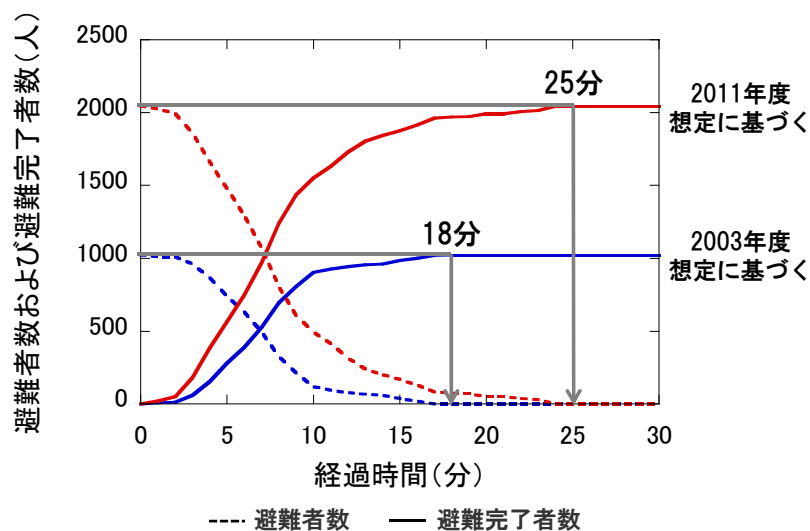


図6 避難者数と避難完了者数の時間変化

(3) 自動車を利用した避難の有効性について

上記の計算結果は、南海トラフ沿いで M9.0 クラスの巨大地震が発生した場合、M 町 H 地区において大きな津波被害が発生することを示している。津波被害の低減にあたっては、例えば、防潮堤等の津波防御施設の整備、耐浪性のある避難施設の浸水区域内への設置、津波浸水区域内の建築制限、住民を対象とした津波避難訓練の実施といった対策を、地区が置かれた状況に応じて講じていく必要がある。ここでは、そうした選択肢の一つとして、自動車を利用した避難の有効性について検討する。

表 3 は、検討条件を整理したものである。全ての住民が徒歩によって避難する条件を A とし、最寄りの避難所から 300m 以上離れた場所に住む住民が、自動車を利用して避難する条件を B～E としてある。ただし、条件 B～E では、1 台の自動車に同乗する人数を変えてある。また、津波浸水区域は 2011 年度想定に基づくものとする。

表 3 津波避難に自動車を利用する場合の検討条件

	徒歩	自動車 (避難距離 300m 以上の住民)
A	2,044 人	0 人
B	1,306 人	738 人 (同乗なし)
C		738 人 (2 人同乗)
D		738 人 (3 人同乗)
E		738 人 (4 人同乗)

図 7 は、計算の結果得られた、全住民の避難完了時間を比較したものである。まず、条件 A と B を比較すると、自動車を利用する条件 B では、かえって避難完了時間が延びている。これは、多くの避難者が自動車を利用することに加え、各避難者が避難先をあらかじめ決

定しているために避難経路の分散が図れず、渋滞が起きていることが原因と考えられる。ただし、避難完了時間は、条件 C, D, E と同乗者数が増えるにつれ、短くなっている。しかし、避難完了時間が条件 A を下回ったのは、同乗者が 3 人以上となる条件 C, D の場合のみであった。

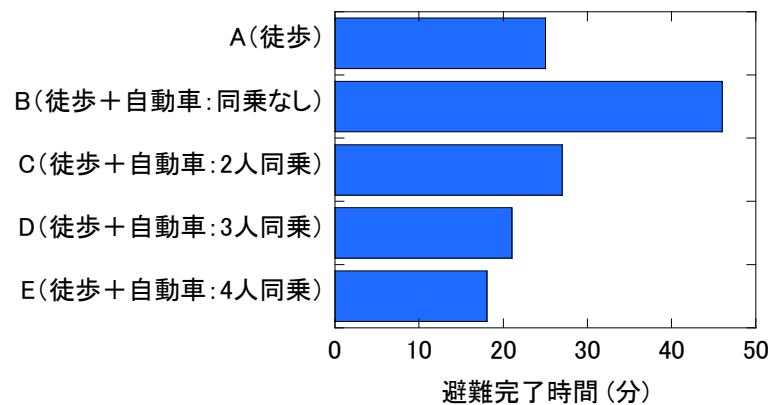


図 7 全住民の避難完了時間

図 8 は、条件 A および条件 E において、避難完了時間が 5 分以上となる住民の分布を示したものである。条件 A では、市街地の広い範囲で避難完了時間が 5 分以上となる住民が存在しているが、条件 E では、そうした状況が部分的に緩和されている。しかし、依然と

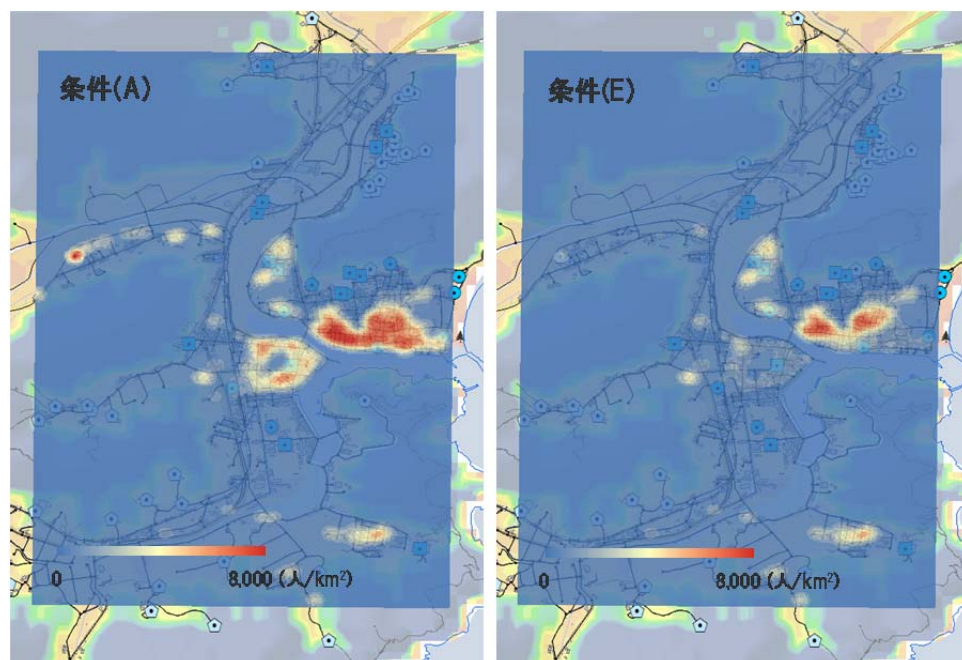


図 8 避難完了時間が 5 分以上となる住民の分布

して、避難完了時間が長くなる区域は残されており、自動車の利用だけでなく、他の対策を併用することで避難完了時間の短縮を図る必要があるものと考えられる。

4.2.4 まとめと今後の課題

本検討では、東海・東南海・南海地震発生時の津波によって被害を受けることが想定されている徳島県 M 町 H 地区を対象として、津波避難モデルを用いた津波危険度の評価と、自動車を津波避難に利用することによる被害軽減効果について調べた。この結果、長距離の避難が必要な住民が自動車を利用する場合、3 名以上が同乗することで一定の効果があることが確認できた。ただし、本検討で利用した津波避難モデルは開発段階にあり、今後改良を加えていくことで、予測精度の向上を図る必要がある。また、こうしたモデルを防災計画検討の実務で利用するにあたっては、今回検討した自動車の避難利用以外の津波対策についても有効性を検証できるように改良を加えていく必要がある。

参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：最新版 日本被害地震総覧 [416]-2001，東京大学出版会（2003 年 4 月）
- 2) 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：中間とりまとめ (http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinihon/index_higashi.html) (2011.6)
- 3) 中央防災会議・南海トラフの巨大地震モデル検討会：中間とりまとめ (http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html) (2011.12)
- 4) 徳島県危機管理部南海地震防災課：津波高暫定値の公表について (http://anshin.pref.tokushima.jp/normal/earthquake/news.html?cid=earthquake_damage&nid=132445820376) (2011.12)
- 5) 西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中孝義：関東大震災における東京市住民避難性状の推定に関する研究，日本建築学会計画系論文集，Vol.74, No.636, pp.105-114 (2009.2)
- 6) Gazis DC, Herman R, Rothery RW: Nonlinear Follow-the-Leader Models of Traffic Flow, Operations Research Vol.9, No.4, pp545-567 (1961)

4.2 徳島県 T 市

三陸沖の地震、およびそれに伴う津波は以前より指摘されていたが、2012 年に起こった東北地方太平洋沖地震は従来の想定をはるかに上回る規模の被害をもたらした。このことはまた日本の沿岸部は、いずれも津波による災害の可能性があることを改めて浮き彫りにした。中でも南海トラフ沿いを震源とする東海、東南海、南海地震は連動する可能性も指摘され、従来予想を上回る規模の津波が発生することも視野にいれた対策が必要とされている。

防波堤等によって内陸部への浸水を防ぐことも津波対策の一つであるが、千年単位で見れば技術的、あるいは経済的に構築可能な防波堤を超える規模の津波が来る可能性もある。その場合は高台や一時的なシェルターなど、津波から安全な場所への避難が求められることになる。

日本の海岸沿いには、標高の高い部分が海岸線の近くにあるリアス式海岸と、数~数十 km にわたって低い土地が広がる平地の部分があり、自ずと避難の方法・条件が異なる。

後者では、居住地域の周辺に津波から安全な一定以上の高さ、規模を持ち、耐浪性・耐震性のある堅固な避難施設を設置してそこに避難する方法が模索されている。当節ではその平地の例として、徳島県 T 市 K 地区を取り上げ、避難行動のケーススタディを行う。

4.2.1 津波・避難シミュレーション ケーススタディ

徳島県が平成 23 年 12 月 21 日に公表した「徳島県沿岸における津波高報告書¹⁾」及び「暫定津波浸水予測図²⁾」によれば、「基本モデル」、「最大津波モデル」の 2 種類の浸水高想定があるが、何れの想定においても K 地区の大半は数 m 浸水すると想定されている。

そのため、当節では全域が浸水し、住民全員が避難しなければならない状況を想定してシミュレーションを行う。

また避難場所であるが、現在、沿岸地域では一時的な避難場所として鉄筋コンクリート造等の頑丈な建物のうち、一定の条件を満たしたものを津波避難ビルとして指定している。しかし、対象住民に比べて、まだまだ数が少ないのが現状である。

そこで今回のシミュレーションでは、東北地方太平洋沖地震でも活用された高架道路への避難を検討し、その有効性を併せて検証する。

(1) 避難シミュレーションモデル

避難行動のシミュレーションには、マルチエージェント型群集シミュレーションモデル SimTread^{3), 4)}を用いる。このモデルでは避難者一人ひとりの最高歩行速度と目的地が設定でき、歩行領域上で、他の歩行者や障害物を避けながら目的地に向かっていく群集の状況を再現するモデルである。

図 1 に、CAD 上に構築されている本システムで、単純な例を入力している様子を示す。

各歩行者はあらかじめ設定された目的地、もしくは最短の距離にある目的地を自動で選択して、動き出す。その際、全歩行者が一定時間間隔($\Delta t = 200$ ミリ秒)ごとに、目的地に向かって最も近い仮移動位置に移動することとし (図 2)、その際他の歩行者や障害物がある場合は、衝突を回避すべく、回転もしくは減速して重なり合わない位置を計算し、 Δt 秒後の移動位置を決定する。(図 3) もし歩行者が密集して重なり合わない位置が無い場合は移動しない。

それらを逐次計算し、すべての歩行者が目的地に到達するまで計算を繰り返す (図 4)。

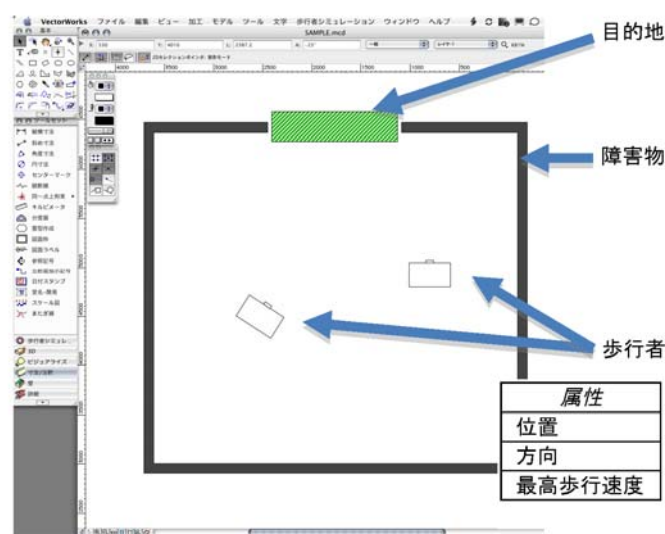
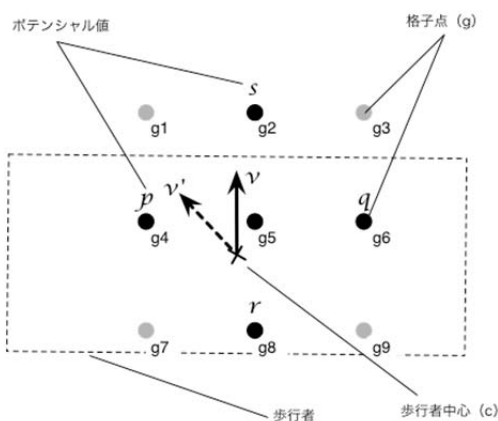
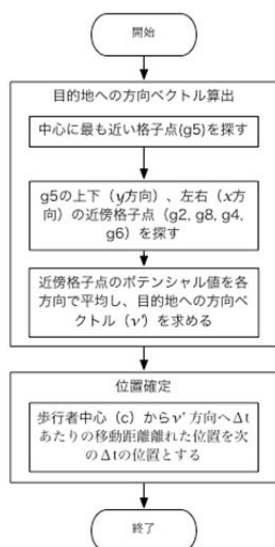


図 1 歩行者・障害物・目的地



現在の方向 $v = (x, y)$

目的地の方向 $v' = (x', y')$ $x' = (q - p) / 2$ $y' = (s - r) / 2$

図 2 仮移動位置計算フロー

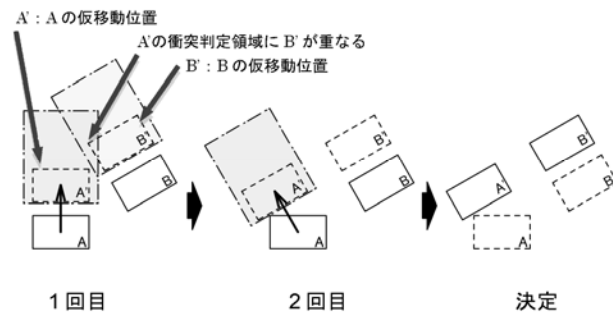


図3 衝突回避

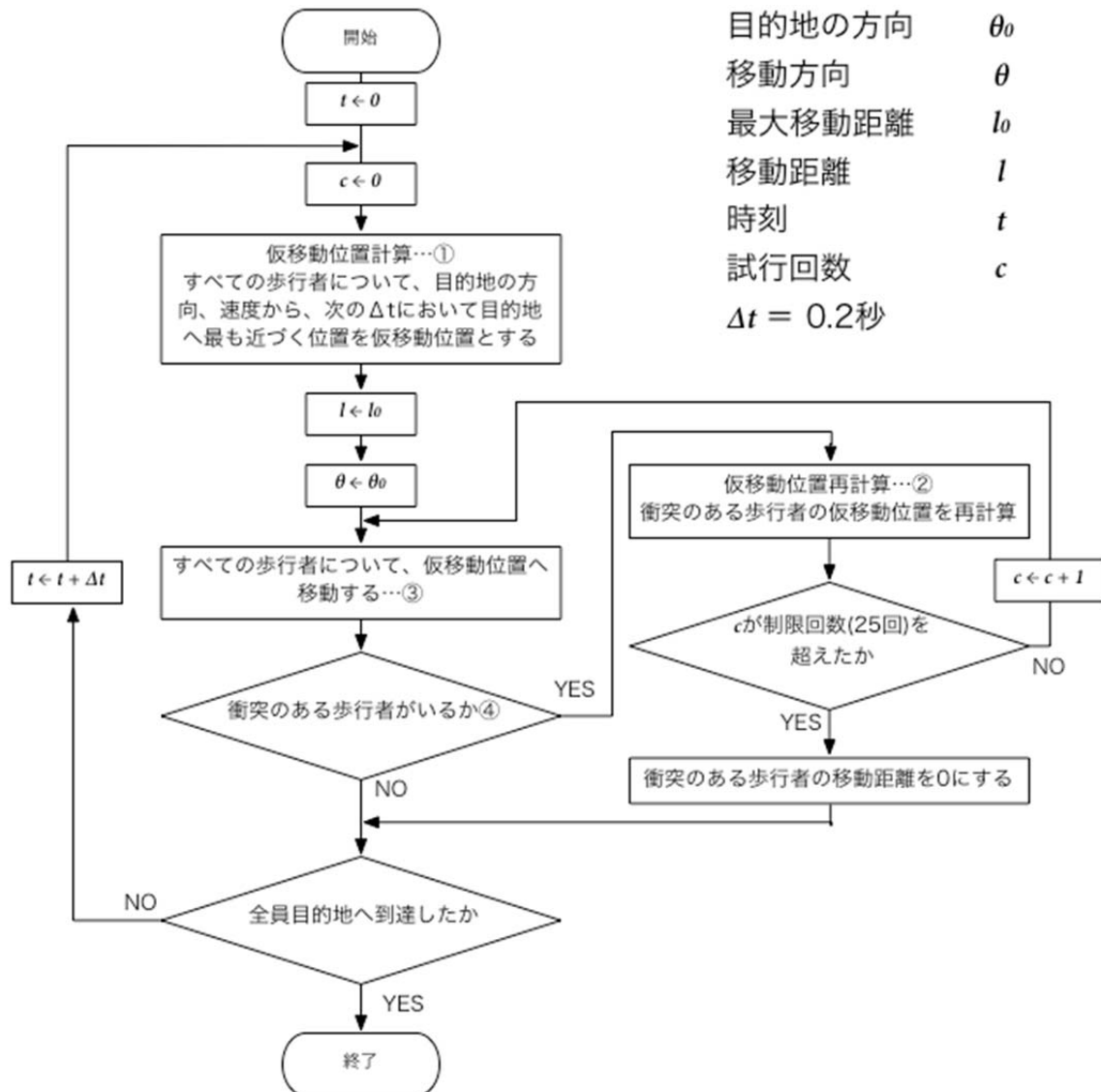


図4 シミュレーション計算フロー

(2) 避難シミュレーションの設定条件

今回のシミュレーションの設定条件を以下に記す。

【シミュレーションの範囲】

徳島県 T 市 K 地区の紀伊水道に近いエリア。(図 5)

【歩行領域】

人を配置した建築物、および道路。なお道路以外の田畑や空き地を横切って移動することは想定しない。

【人の配置】

平成 17 年国勢調査「男女別人口総数及び世帯総数」⁵⁾の K 地区の全人口を基に、予測対象部分を面積按分して対象部分の避難者数を 9,418 人と設定。

また其々の避難者は地図データから把握できる住宅・建築物の大きさに応じて適宜配置し、地区内の工業団地には配置していない。

【人のスピード】

対象地域は平地であり、全員、最高速度を 1.0m/sec (3.6km/hour) で設定した。なお、障害物や混雑に応じて、減速・停止する。

【道路の幅】

一般道は 4m と 8m 幅の 2 種類に設定。避難先の 3 本の高架道路は 25m と設定した。

【避難場所（道路）】

避難場所と指定する高架道路は地区内を南北に通過する 2 本と、東西に通過する一本の計 3 本とする。また当該道路は高架のため、既存の一般道が高架道路を横切る位置に高架道路への進入口があると仮定し、それぞれを目的地とし、番号を設定した。(No.1～29)

【避難場所（津波避難ビル）】

T 市が平成 23 年 5 月時点で指定している K 地区内の津波避難ビルを避難場所として設定した。(No.H-3～H-9、および No.H-19 の 8 箇所)

なお本来、津波避難ビルはその高さや構造、避難者が集合してきたときに一時的に収容できるスペースがあるかどうかなどを考慮する必要があるが、検討できる十分な資料がそろわなかった。そこで、当該シミュレーションではそれらの津波避難ビルには、避難者は全て安全に収容できるものと仮定している。

【状況設定】

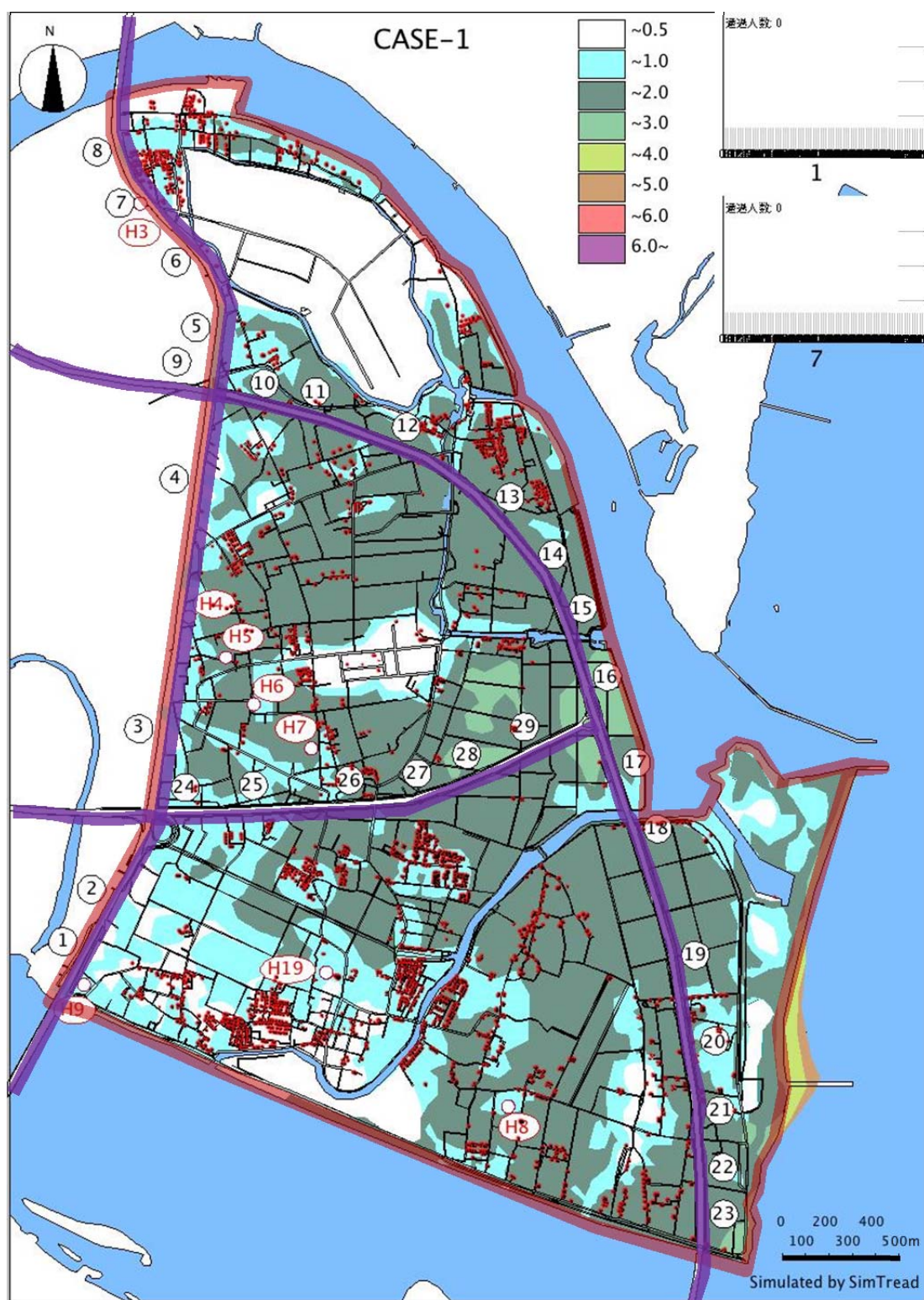
概ね全員が自宅にいる状態を想定した。また全員が一斉に避難開始することを想定。

【シミュレーションする 3 ケース】

ケース 1: 最も近い津波避難ビルに向かって逃げる。津波避難ビルは 8 箇所。

ケース 2: 3 本の高架道路上に避難場所 29 か所を設定し、全員が最も近い避難場所を目指す。

ケース 3: 道路上の避難場所あるいは津波避難ビルのどちらか近い方に逃げる。



(内陸部の色は徳島基本モデルにおける浸水高。 — は高架道路)

図5 避難シミュレーションの範囲 (— の内側)

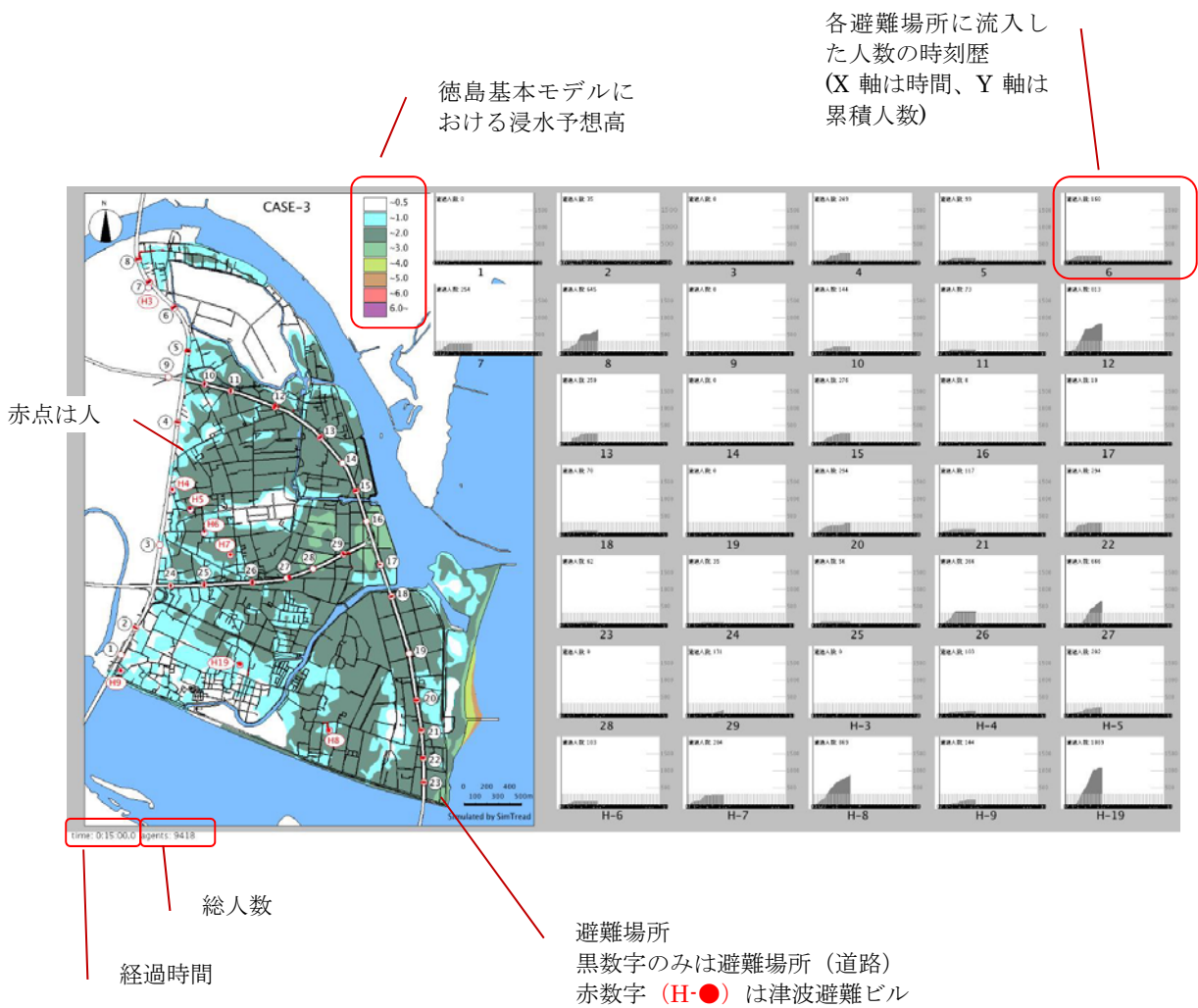


図 6 シミュレーションの表示例

(3) 各ケースのシミュレーション結果

いずれも全員が一斉に避難開始してから、最後の一人がいずれかの避難場所に流入する時間。

ケース 1:避難時間約 37 分。

ケース 2:避難時間約 28 分。

ケース 3 避難時間約 20 分。

表 1 に各地点での避難時間と避難人数を記す。

表 1 各ケースでの各計測地点での結果一覧

計測地点 名	ケース 1			ケース 2			ケース 3		
	避難人数 [人]	避難終了時間 [sec]	[min]	避難人数 [人]	避難終了時間 [sec]	[min]	避難人数 [人]	避難終了時間 [sec]	[min]
Point1	-	-	-	525	1149.4	19.2	-	-	-
Point2	-	-	-	388	1179.2	19.7	35	554.2	9.2
Point3	-	-	-	147	913.2	15.2	-	-	-
Point4	-	-	-	351	866.6	14.4	248	708.0	11.8
Point5	-	-	-	99	391.0	6.5	99	390.2	6.5
Point6	-	-	-	163	380.8	6.3	163	380.0	6.3
Point7	-	-	-	249	409.6	6.8	234	410.0	6.8
Point8	-	-	-	707	1143.0	19.1	707	1143.0	19.1
Point9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Point10	-	-	-	144	523.0	8.7	144	523.0	8.7
Point11	-	-	-	73	348.4	5.8	73	348.6	5.8
Point12	-	-	-	839	1048.8	17.5	815	1049.0	17.5
Point13	-	-	-	259	698.2	11.6	259	698.2	11.6
Point14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Point15	-	-	-	281	902.8	15.0	276	872.2	14.5
Point16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Point17	-	-	-	10	223.4	3.7	10	223.4	3.7
Point18	-	-	-	341	1168.4	19.5	70	382.0	6.4
Point19	-	-	-	662	1607.6	26.8	229	893.4	14.9
Point20	-	-	-	135	398.0	6.6	135	398.0	6.6
Point21	-	-	-	67	1216.4	20.3	67	<u>1216.4</u>	<u>20.3</u>
Point22	-	-	-	607	1524.8	25.4	289	573.0	9.6
Point23	-	-	-	320	1277.4	21.3	141	683.4	11.4
Point24	-	-	-	35	399.0	6.7	35	398.0	6.6
Point25	-	-	-	269	465.2	7.8	205	438.6	7.3
Point26	-	-	-	1255	1370.2	22.8	371	488.8	8.1
Point27	-	-	-	1462	<u>1688.6</u>	<u>28.1</u>	850	880.4	14.7
Point28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Point29	-	-	-	30	327.2	5.5	137	1051.4	17.5
HB-3	1322	2106.0	35.1	-	-	-	15	122.2	2.0
HB-4	1364	2170.0	36.2	-	-	-	104	716.2	11.9
HB-5	245	1038.4	17.3	-	-	-	208	816.6	13.6
HB-6	158	751.2	12.5	-	-	-	103	308.6	5.1
HB-7	1217	1976.2	32.9	-	-	-	284	605.4	10.1
HB-8	1895	<u>2224.2</u>	<u>37.1</u>	-	-	-	1050	959.2	16.0
HB-9	406	840.8	14.0	-	-	-	367	681.2	11.4
HB-19	2811	1157.8	19.3	-	-	-	1695	989.4	16.5

*太字が各ケースで最も避難時間がかかった目的地

(4) 考察

避難場所は収容可能人員を考慮せずに全てを収容できると仮定し、また道路も避難者数に比べて十分に広いことを前提としていることから、概ね避難場所への距離によって避難時間の長短が出る。よって、避難場所の多いケース 3 が最も避難時間が短い。

高架道路を避難場所にした場合、避難場所が近くにできること、避難者が滞留する場所を確保しやすいこと、また地震後火災などからの 2 次避難を行いやすいことなどのメリットがある。

しかし、海に向かって逃げなければいけない（特に海岸沿いを南北に通過する道路への避難）部分は、心理面を考えると難しい問題である。

また 3 ケースいずれにおいても、避難場所が遍在しており、比較的浸水の恐れが少ない高台から低い部分を通って避難している部分がある。今後、避難場所を追加していく場合にはその設置場所にも検討が必要と考えられる。

次ページ以降にシミュレーションの模様を示す。

シミュレーション結果（動画 全体） ＊動画は Quicktime 形式 20 倍速）

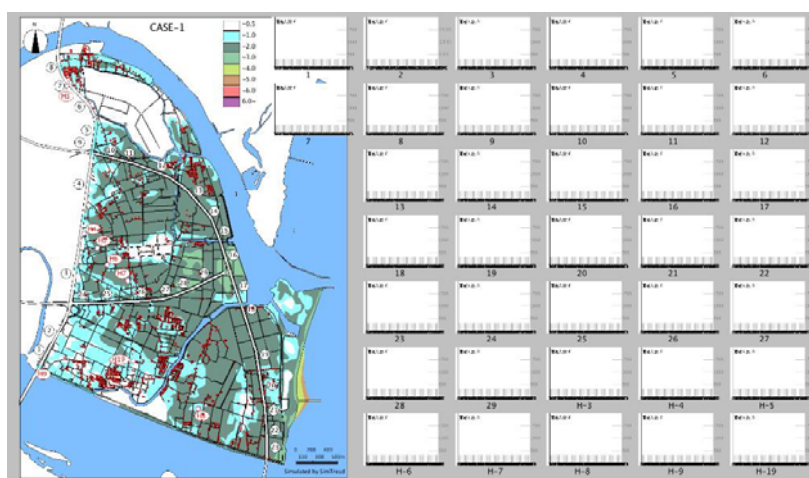


図7 ケース1 津波避難ビルだけに避難（pdf は画面をクリック）



図8 ケース2 高架道路のみに避難（pdf は画面をクリック）



図9 ケース3 津波避難ビル及び高架道路に避難（pdf は画面をクリック）

シミュレーション結果（動画 部分拡大） *動画は Quicktime 形式

左上 H3 避難ビル周辺

目的地の多い高架道路への避難するケース 2 の方が、避難者が分散しているのがわかる。
いずれも 6 分後。

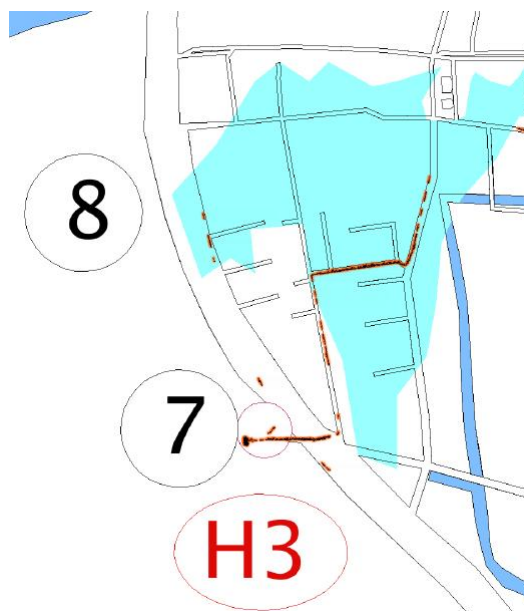


図 10 H3 避難ビル周辺 ケース 1 (pdf は画面をクリック)

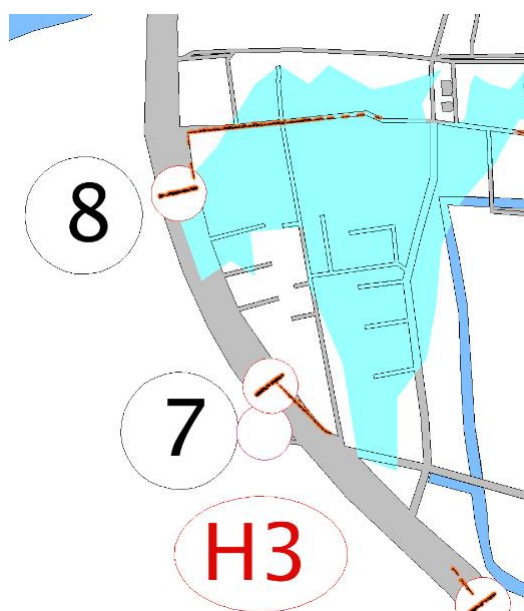


図 11 H3 避難ビル周辺 ケース 2 (pdf は画面をクリック)

シミュレーション結果（動画 部分拡大） *動画は Quicktime 形式

真ん中 H6,H7 避難ビル周辺

目的地のより多いケース 2、ケース 3 の方が、避難者が分散しているのがわかる。いずれも 6 分後。

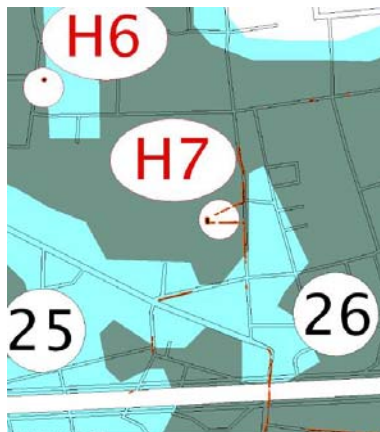


図 12 H6,H7 避難ビル周辺 ケース 1 (pdf は画面をクリック)

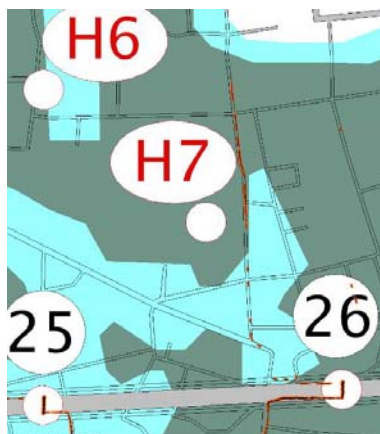


図 13 H6,H7 避難ビル周辺 ケース 2 (pdf は画面をクリック)

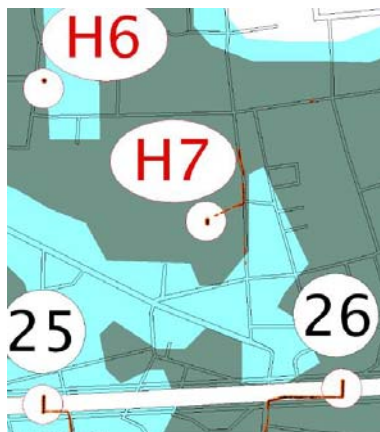


図 14 H6,H7 避難ビル周辺 ケース 3 (pdf は画面をクリック)

ケース 1：シミュレーション結果

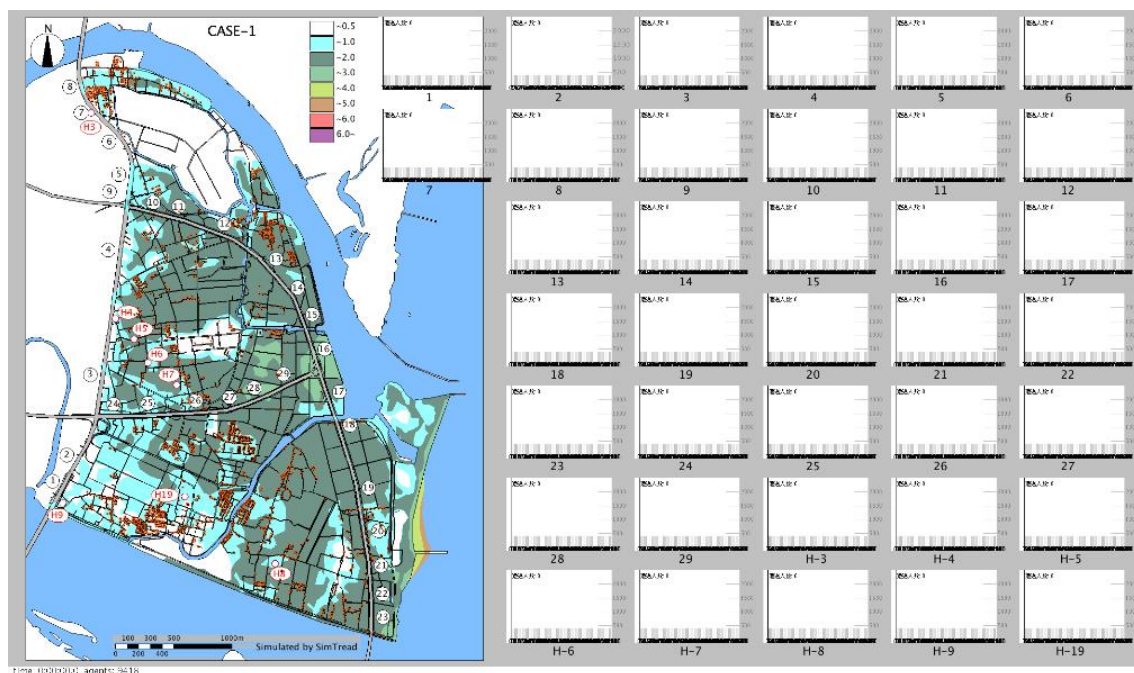


図 15 ケース 1： 0 秒後

赤い点が住民の初期配置状態。

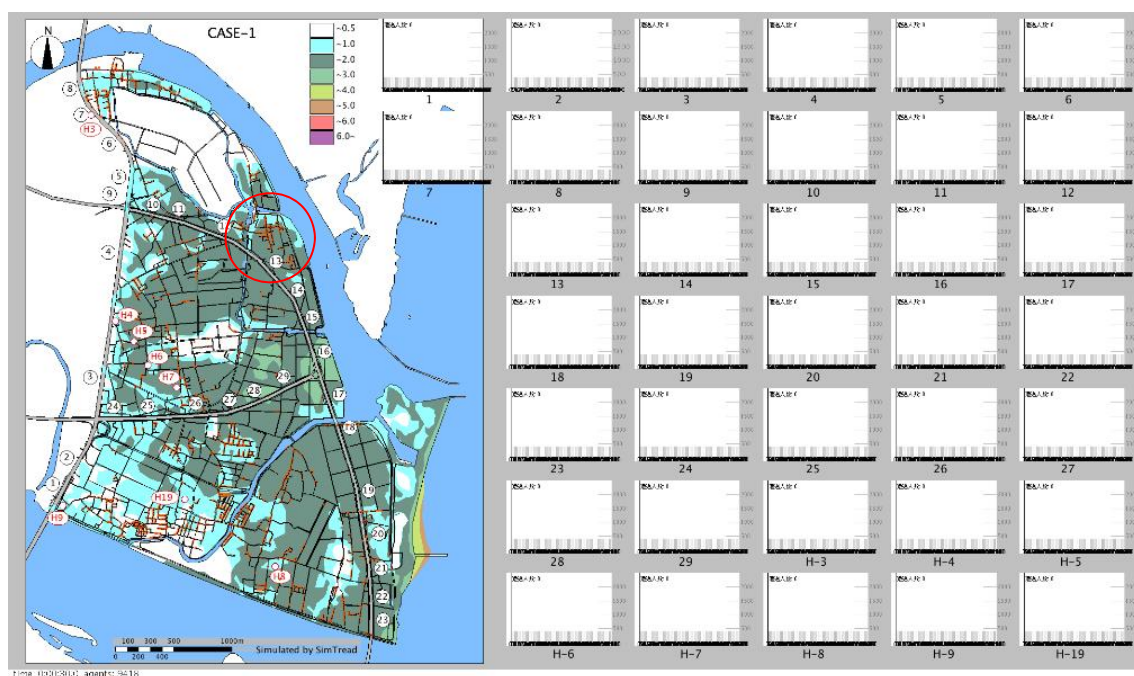


図 16 ケース 1： 30 秒後

道路に沿って動き始めた直後。目標地点は H-3～H-9、および H-19 の 8 箇所。

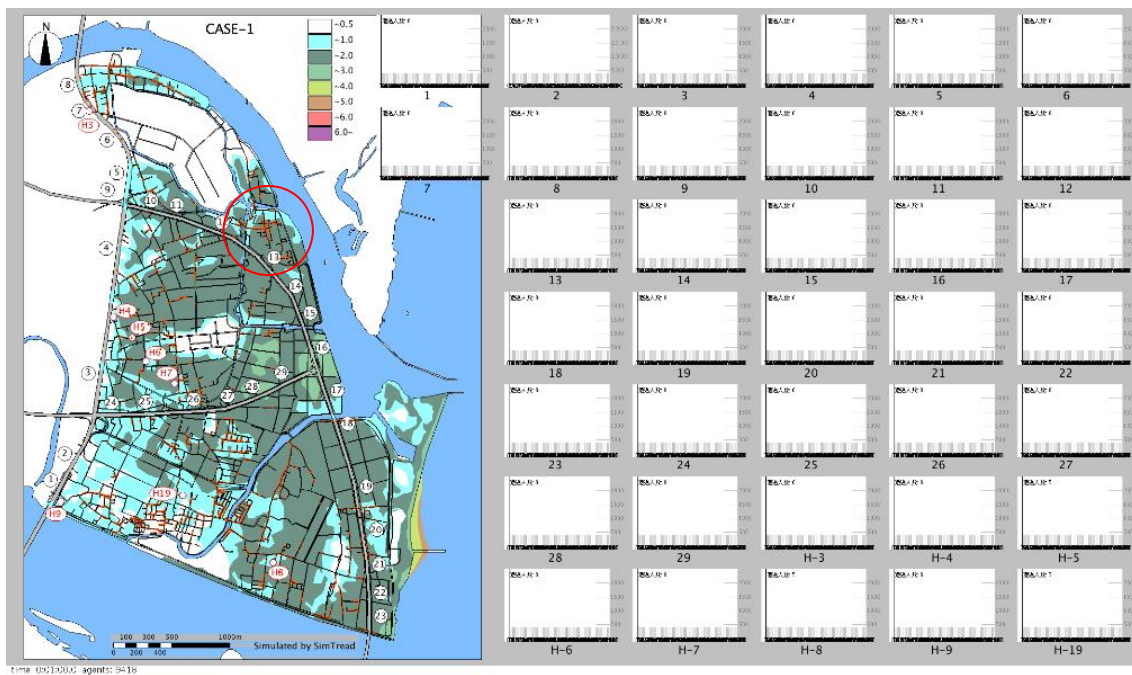


図 17 ケース 1： 60 秒後

○の部分が避難場所から最も遠い

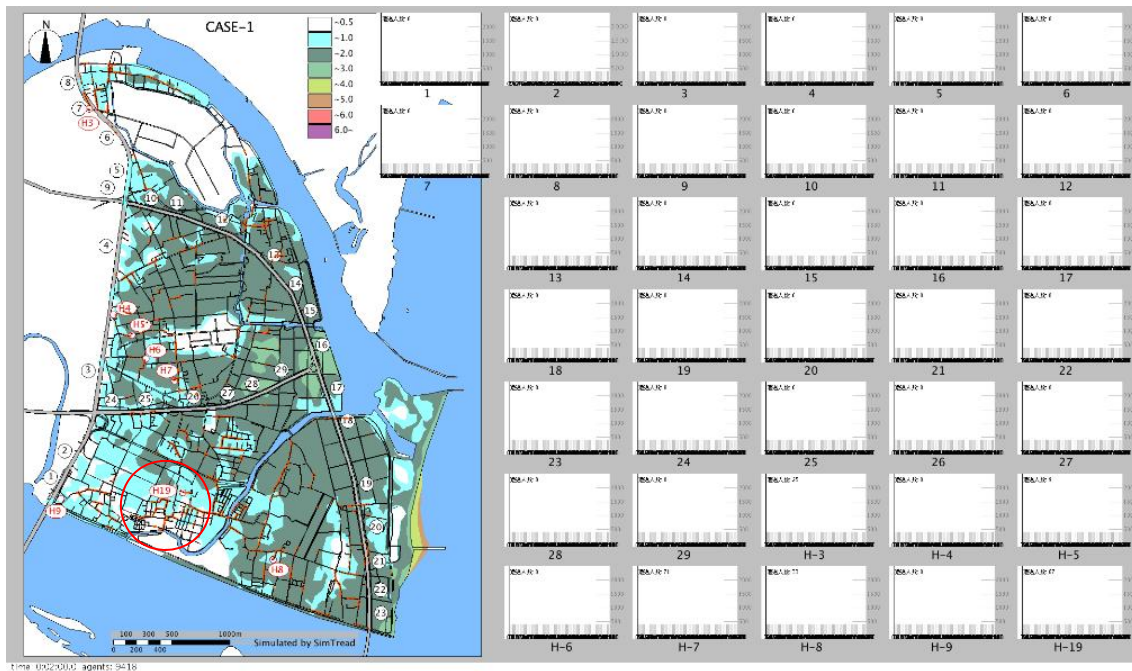


図 18 ケース 1： 120 秒後

H-19 への避難者は一度、浸水高さの高い（浸水の恐れの高い）部分を通る。

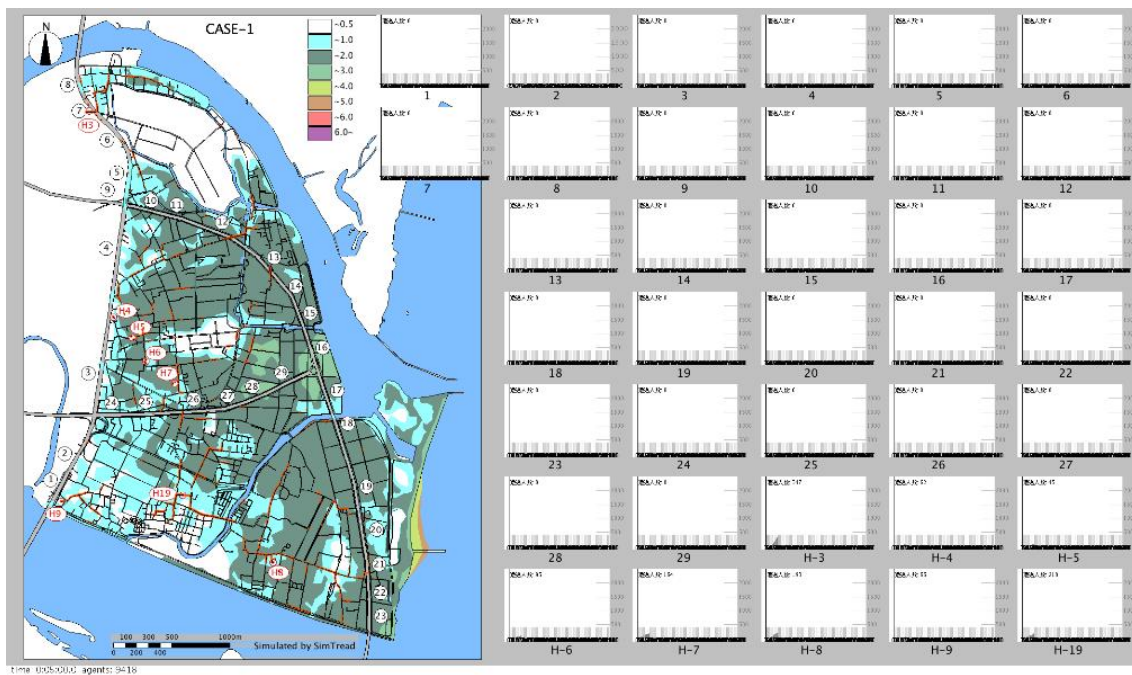


図 19 ケース 1： 300 秒後

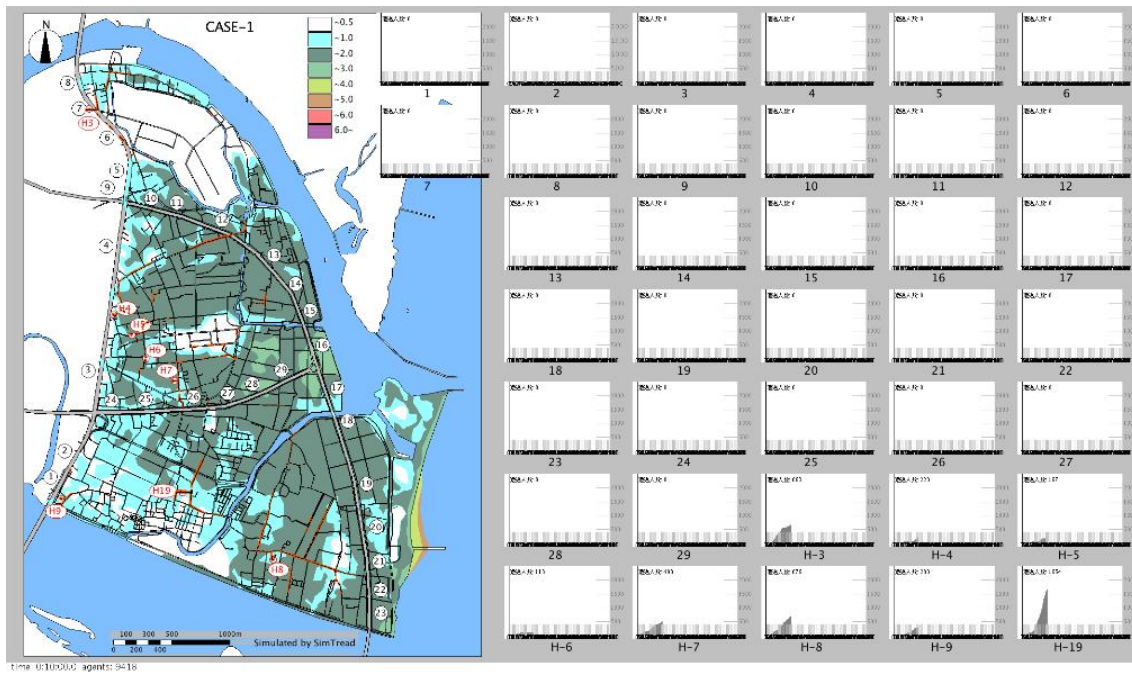


図 20 ケース 1： 600 秒後

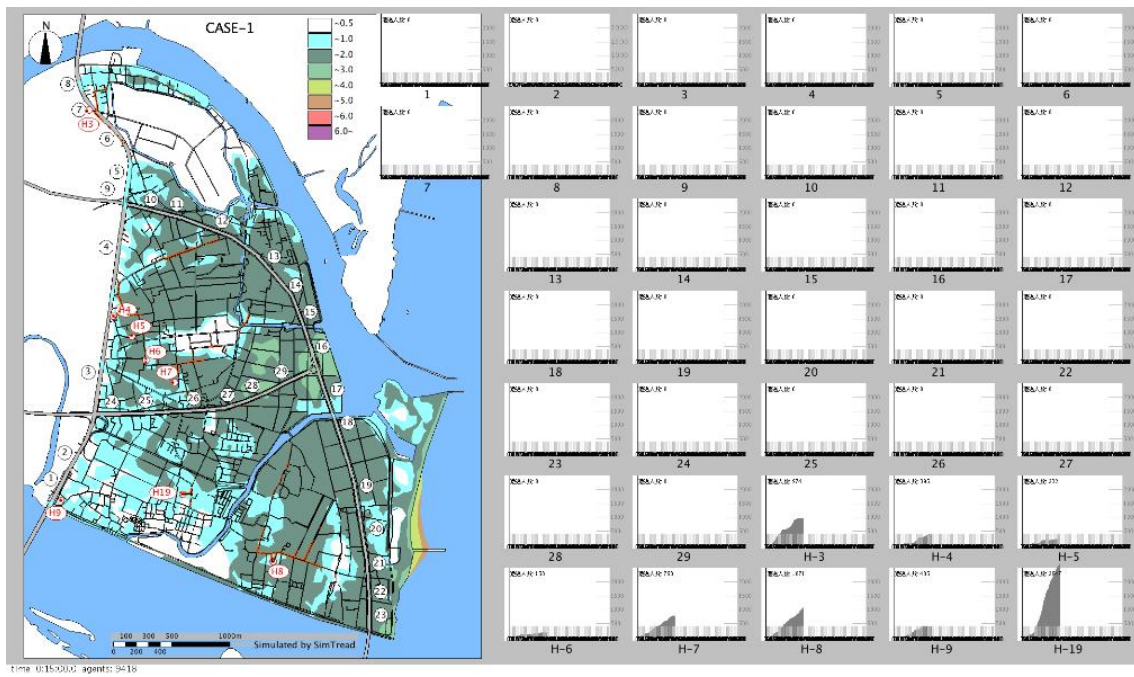


図 21 ケース 1： 900 秒後

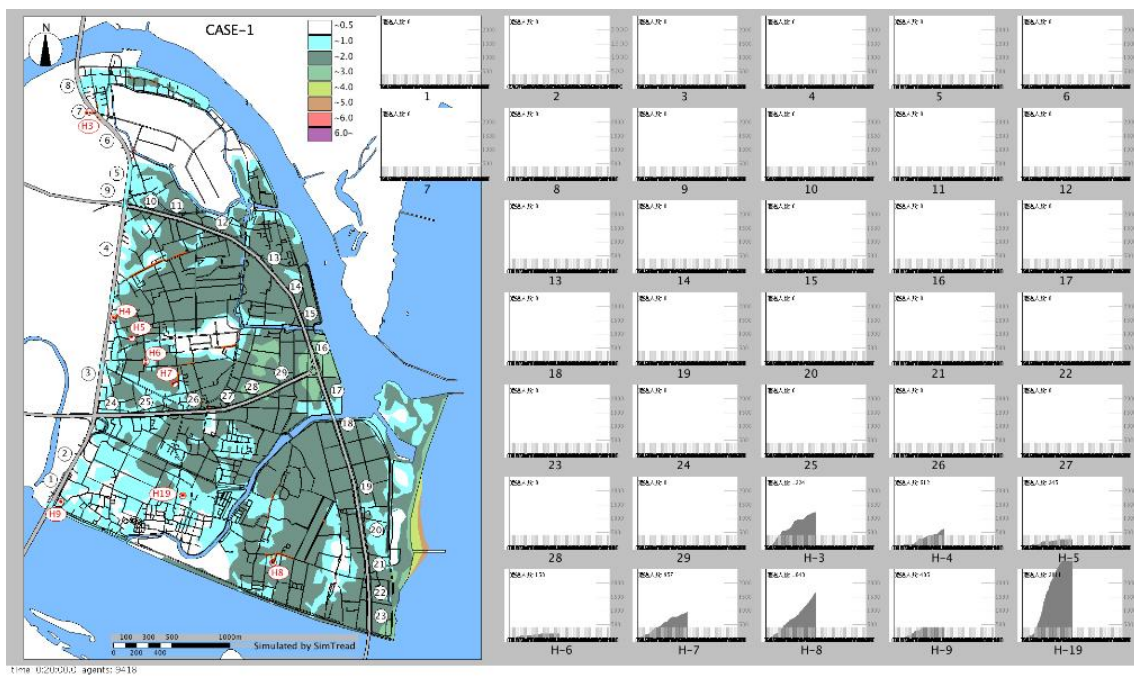


図 22 ケース 1： 1200 秒後

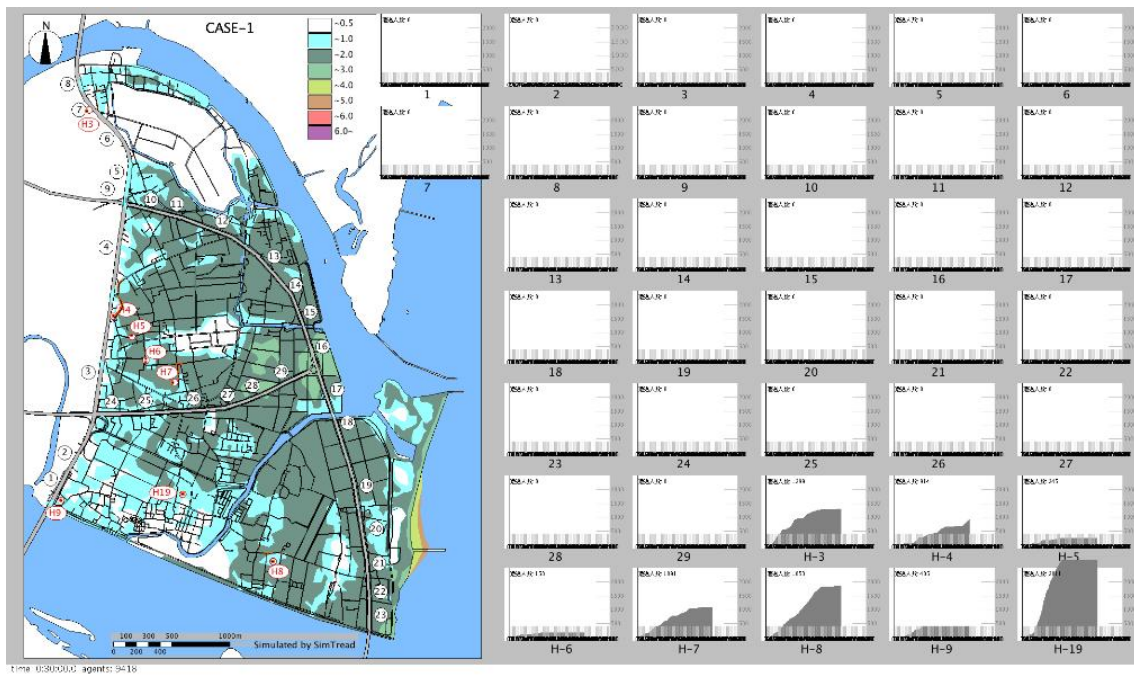


図 23 ケース 1： 1800 秒後

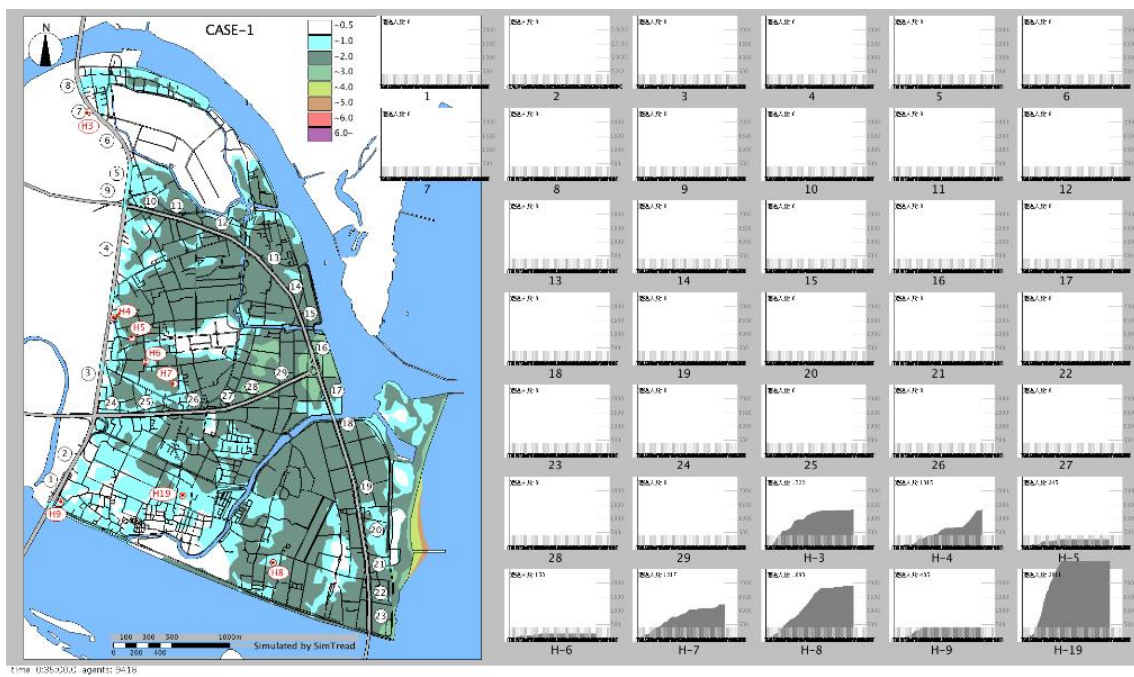


図 24 ケース 1： 2100 秒後

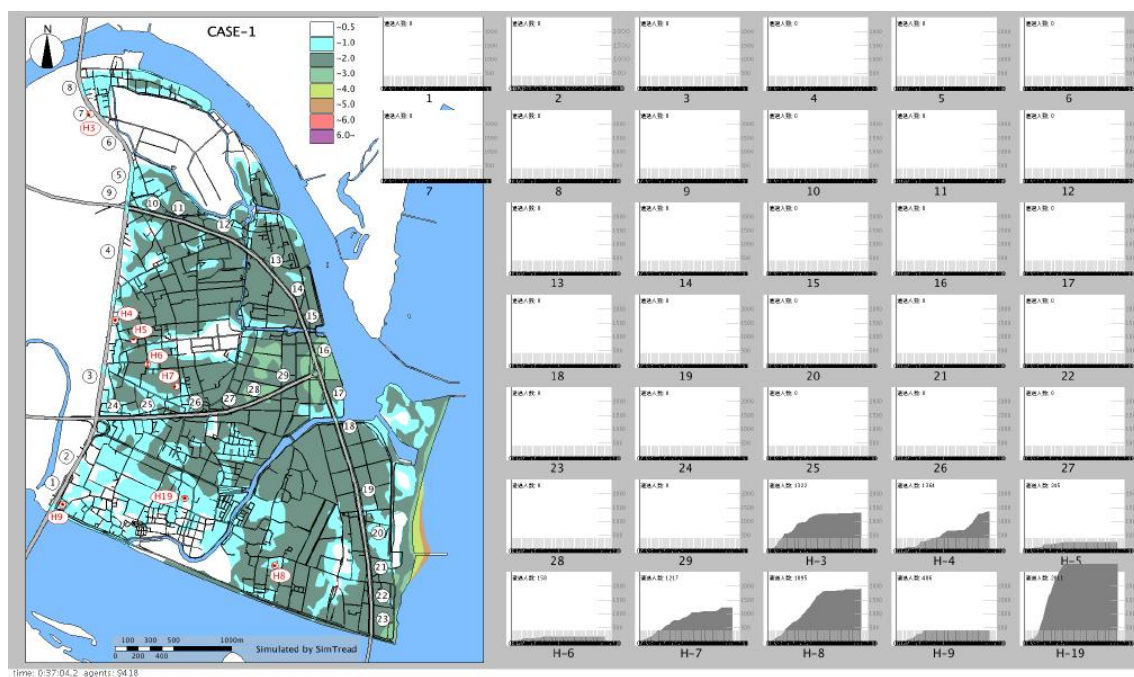


図 25 ケース 1： 2224 秒後（避難終了）

表 2 ケース 1： 各目的地への避難状況一覧

計測地点名	収容人数	避難終了時間	
	[人]	[sec]	[min]
HB-3	1322	2106.0	35.1
HB-4	1364	2170.0	36.2
HB-5	245	1038.4	17.3
HB-6	158	751.2	12.5
HB-7	1217	1976.2	32.9
HB-8	1895	2224.2	37.1
HB-9	406	840.8	14.0
HB-19	2811	1157.8	19.3

ケース 2：シミュレーション結果

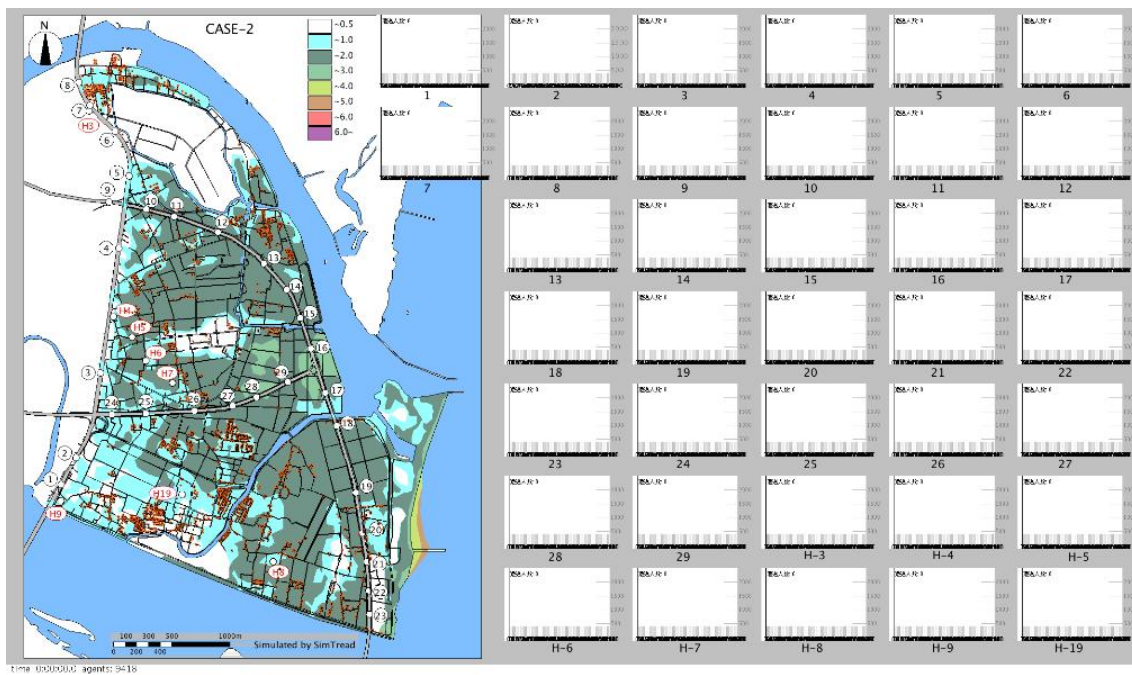


図 26 ケース 2： 0 秒後

赤い点が住民の初期配置状態。

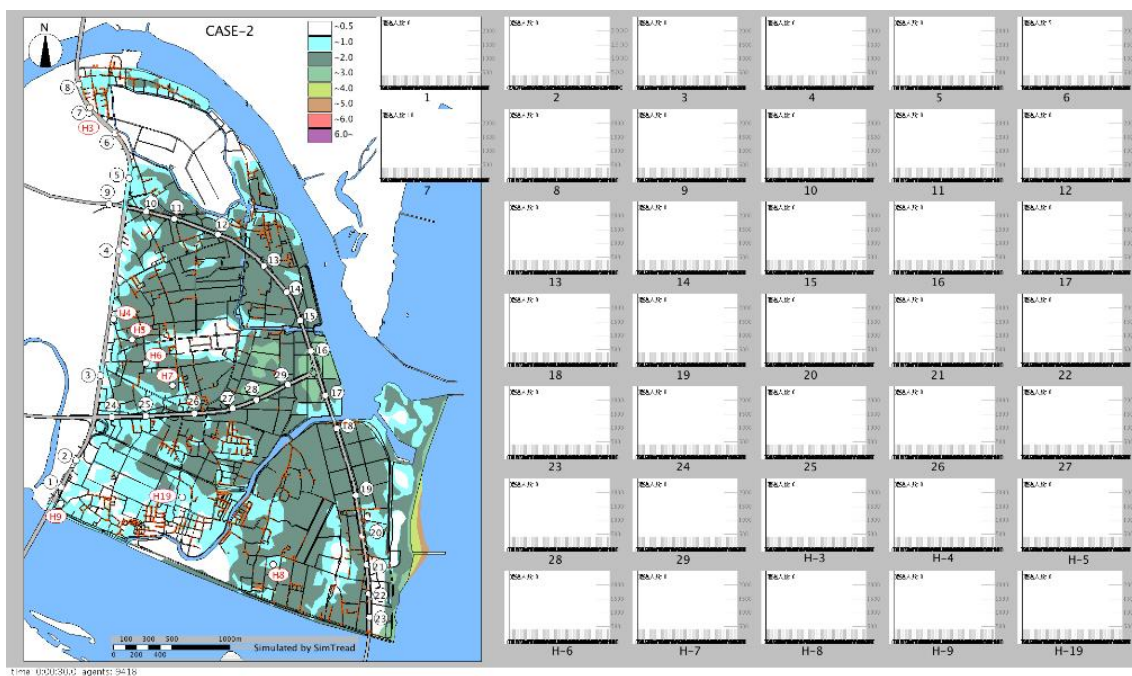


図 27 ケース 2： 30 秒後

道路に沿って動き始めた直後。目標地点は黒丸数字で No.1～29。

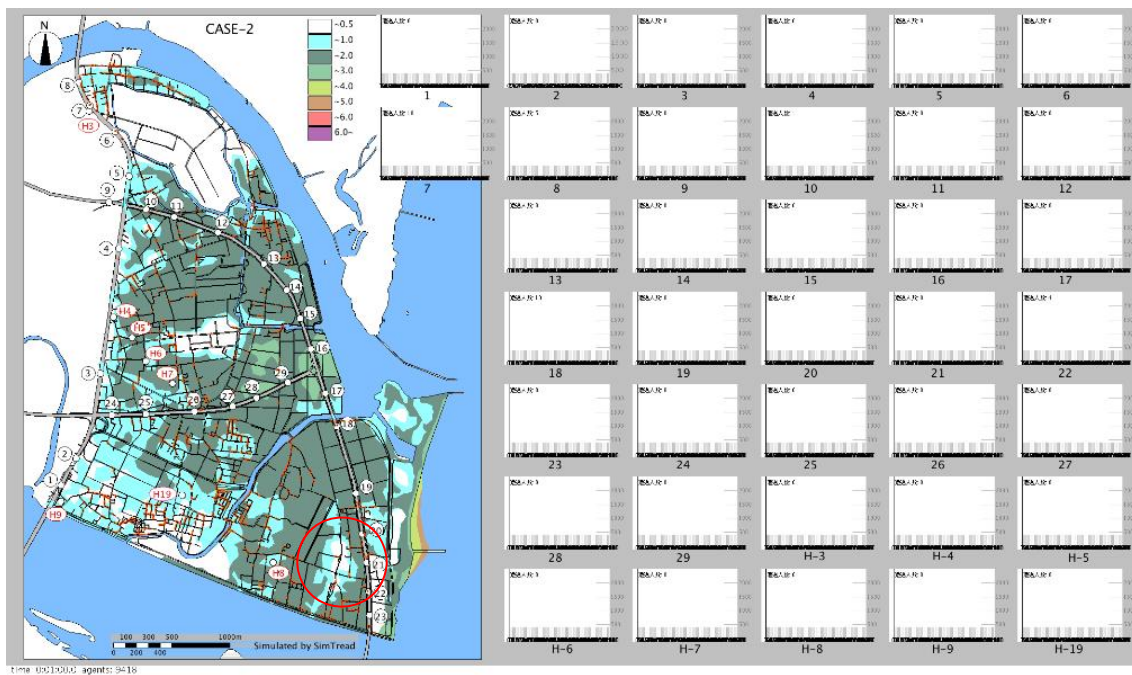


図 28 ケース 2： 60 秒後

○部分は海に向かって避難している。

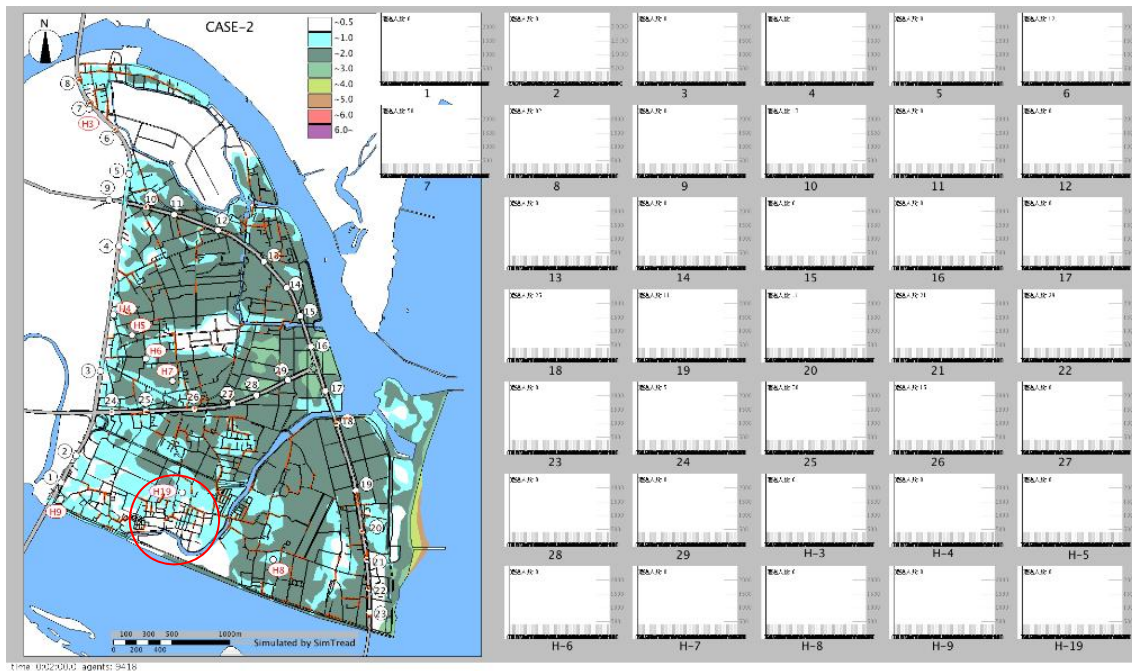


図 29 ケース 2： 120 秒後

○部分は浸水の恐れのある部分を通して避難している。

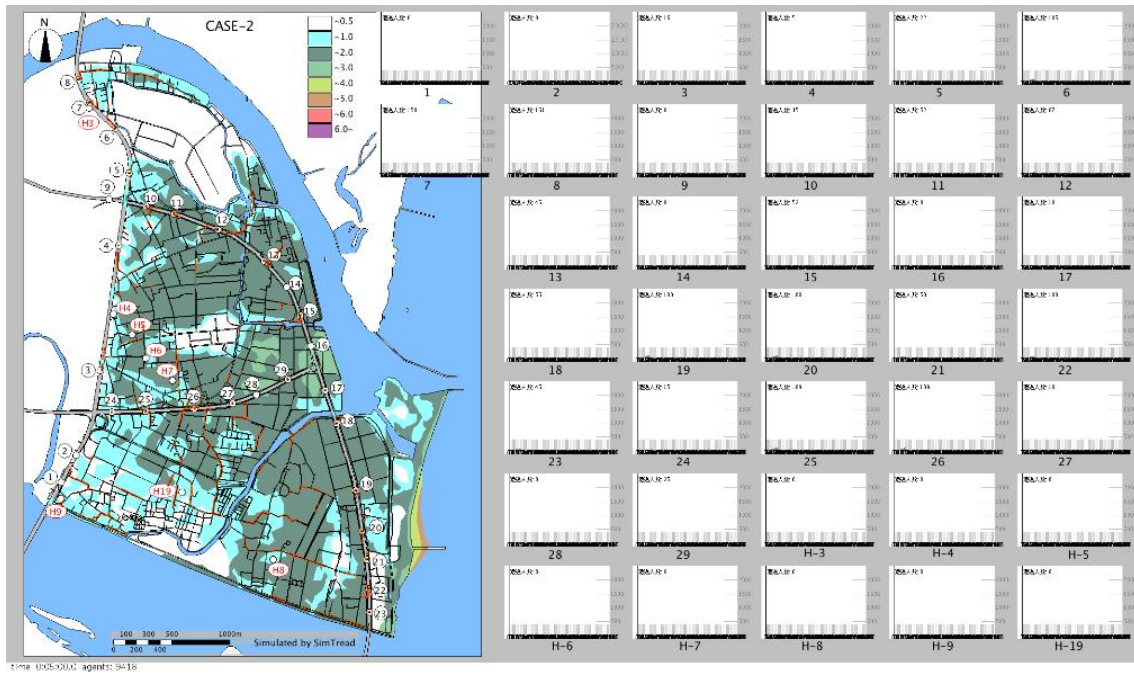


図 30 ケース 2： 300 秒後

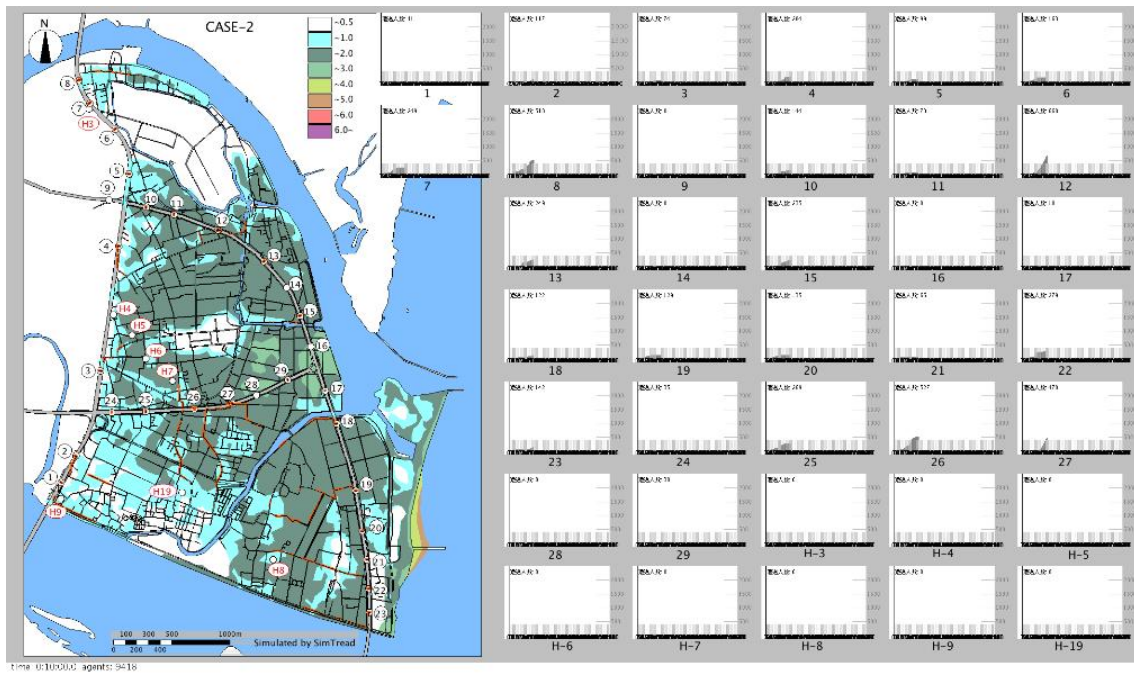


図 31 ケース 2： 600 秒後

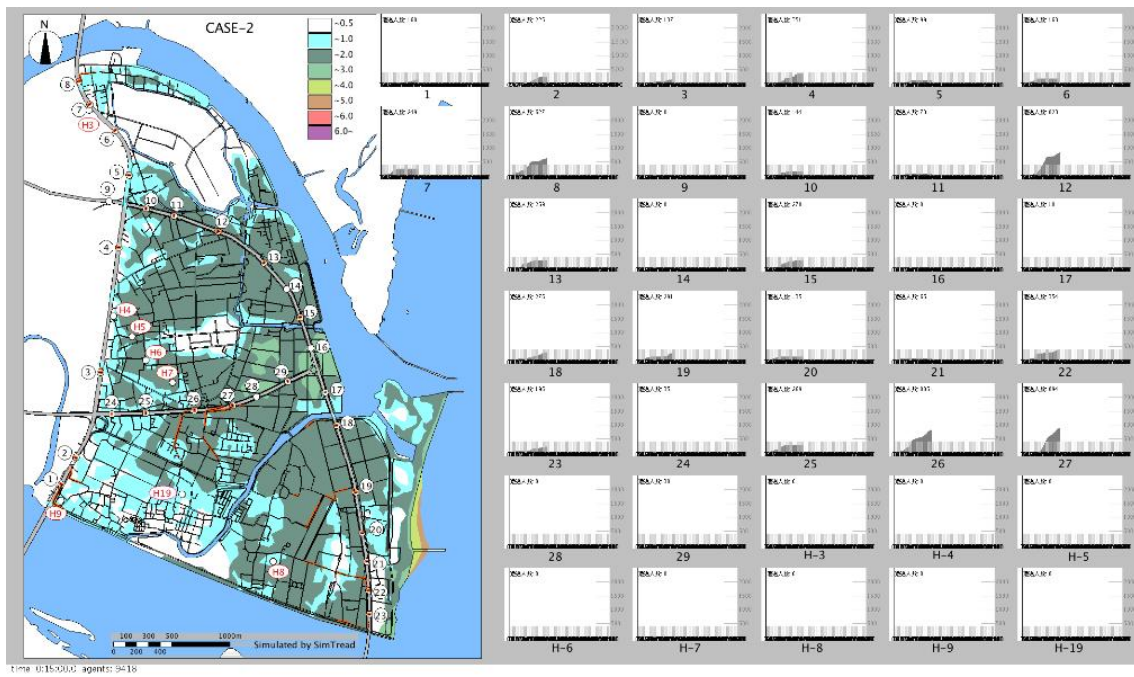


図 32 ケース 2： 900 秒後

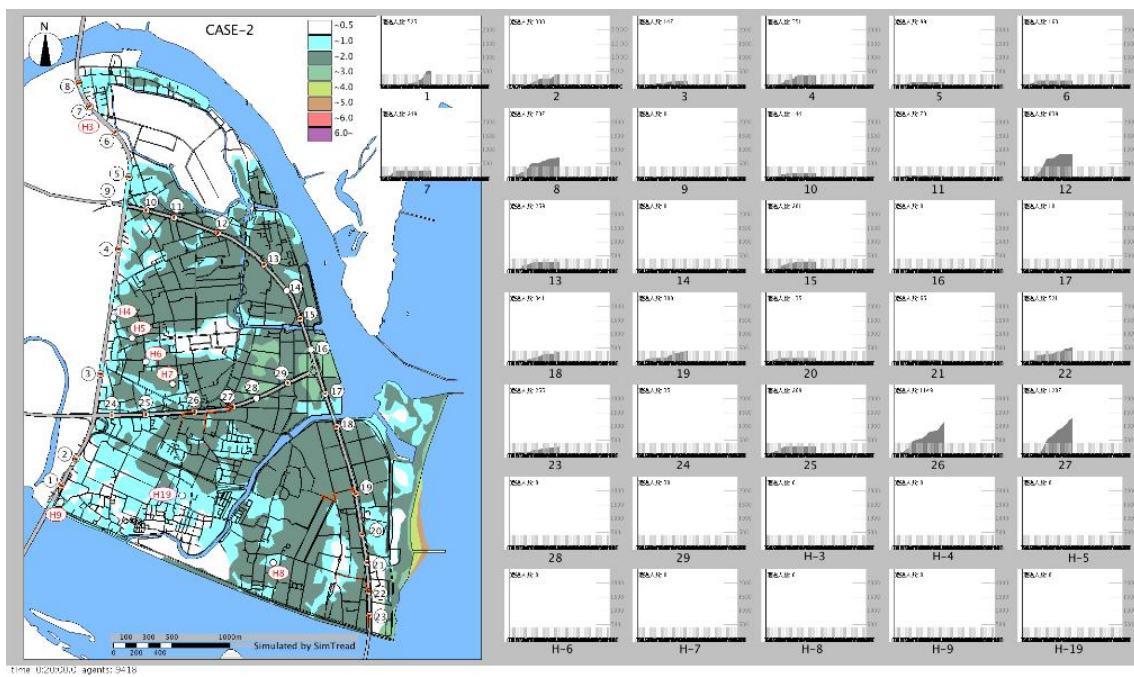


図 33 ケース 2： 1200 秒後

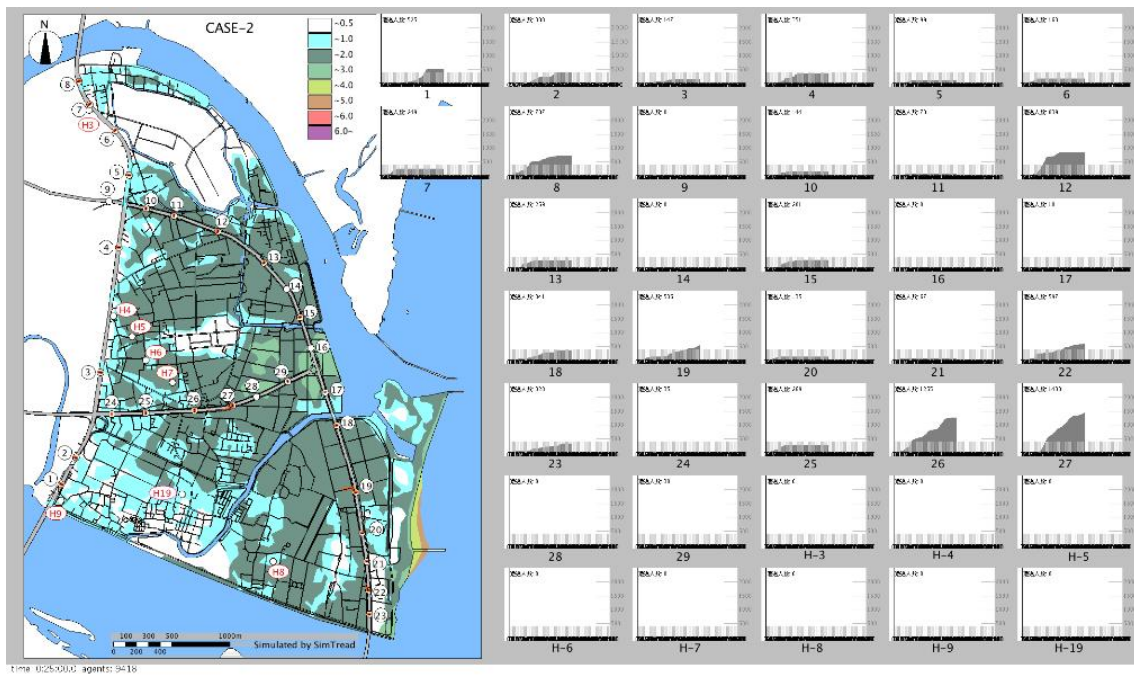


図 34 ケース 2： 1500 秒後

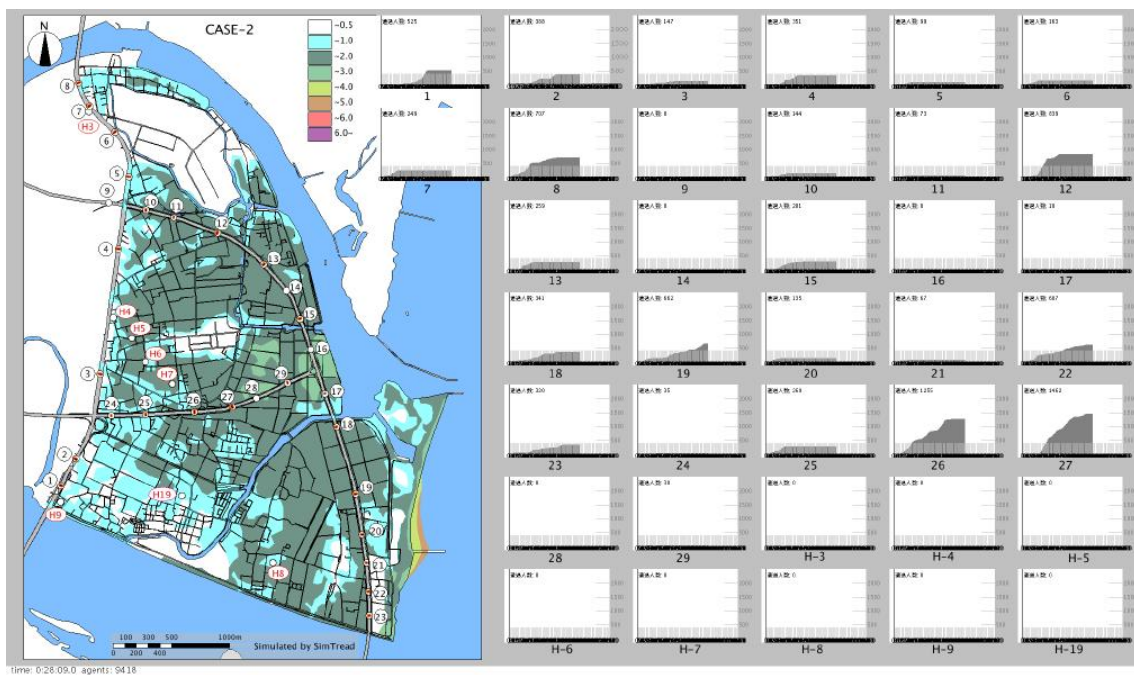


図 35 ケース 2： 1680 秒後（避難終了）

目的地番号 26,27 への避難者はケース 1 では近傍の H19 に避難していたが、それより時間がかかっている。

表2 ケース2： 各目的地への避難状況一覧

計測地点名	最大人数	避難終了時間	
	[人]	[sec]	[min]
Point1	525	1149.4	19.2
Point2	388	1179.2	19.7
Point3	147	913.2	15.2
Point4	351	866.6	14.4
Point5	99	391.0	6.5
Point6	163	380.8	6.3
Point7	249	409.6	6.8
Point8	707	1143.0	19.1
Point9	-	-	-
Point10	144	523.0	8.7
Point11	73	348.4	5.8
Point12	839	1048.8	17.5
Point13	259	698.2	11.6
Point14	-	-	-
Point15	281	902.8	15.0
Point16	-	-	-
Point17	10	223.4	3.7
Point18	341	1168.4	19.5
Point19	662	1607.6	26.8
Point20	135	398.0	6.6
Point21	67	1216.4	20.3
Point22	607	1524.8	25.4
Point23	320	1277.4	21.3
Point24	35	399.0	6.7
Point25	269	465.2	7.8
Point26	1255	1370.2	22.8
Point27	1462	1688.6	28.1
Point28	-	-	-
Point29	30	327.2	5.5

ケース 3：シミュレーション結果

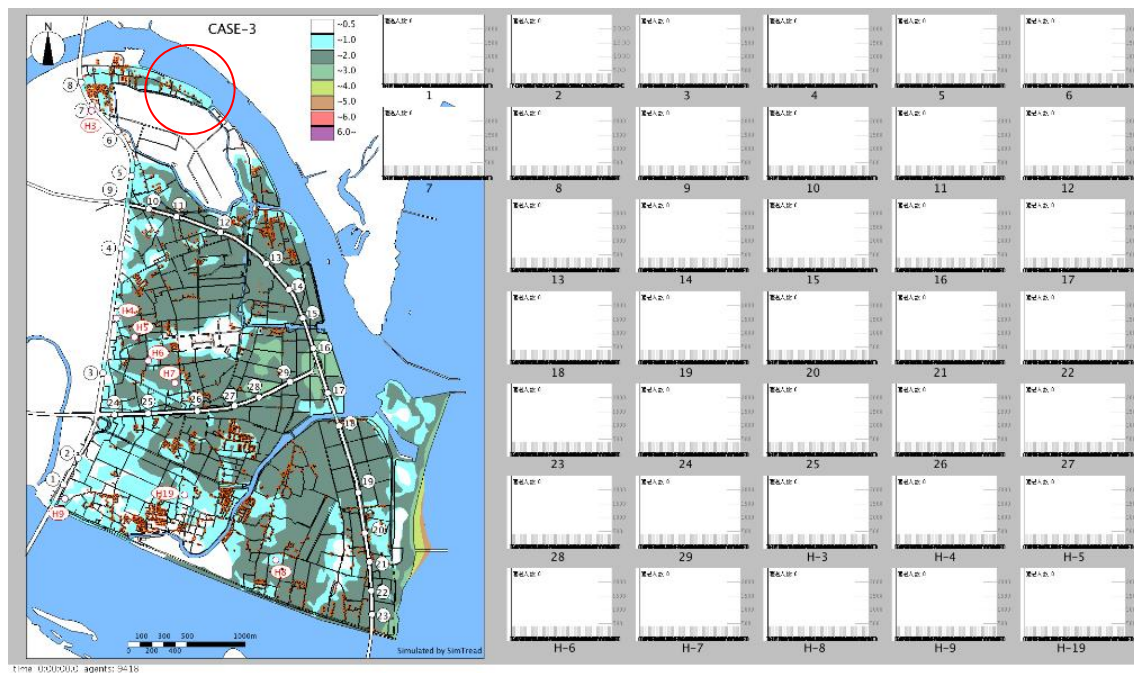


図 36 ケース 3： 0 秒後

赤い点が住民の初期配置状態。○部分が最も遠い住民

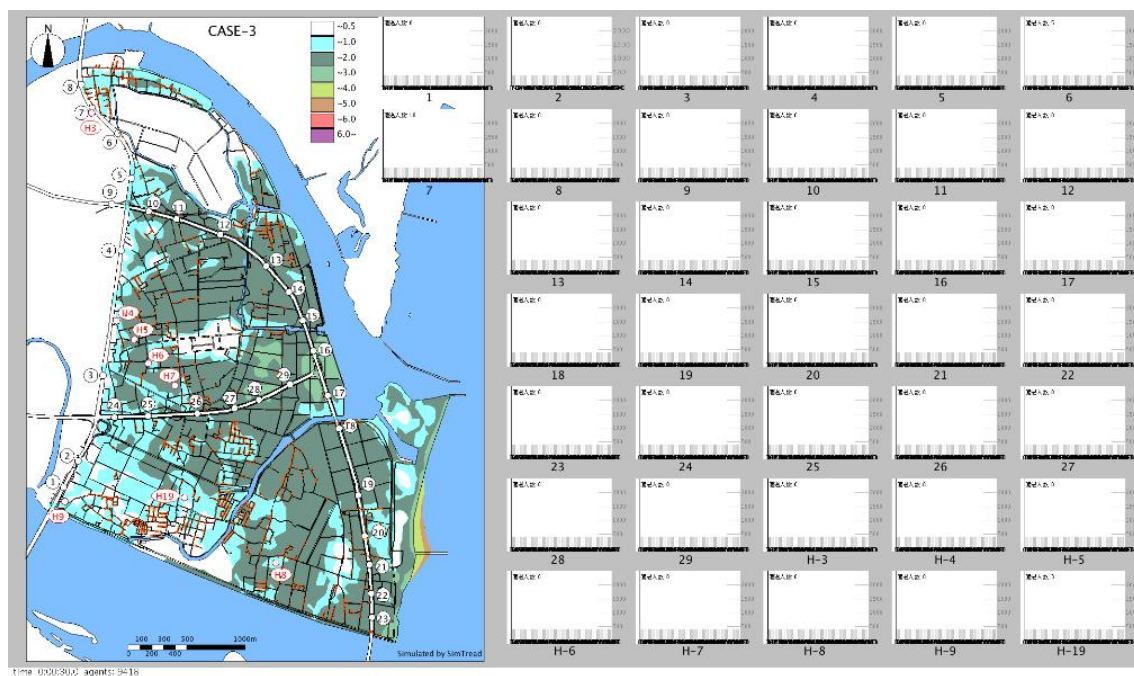


図 37 ケース 3： 30 秒後

道路に沿って動き始めた直後。目標地点は H-3～H-9、H-19 および No.1～29。

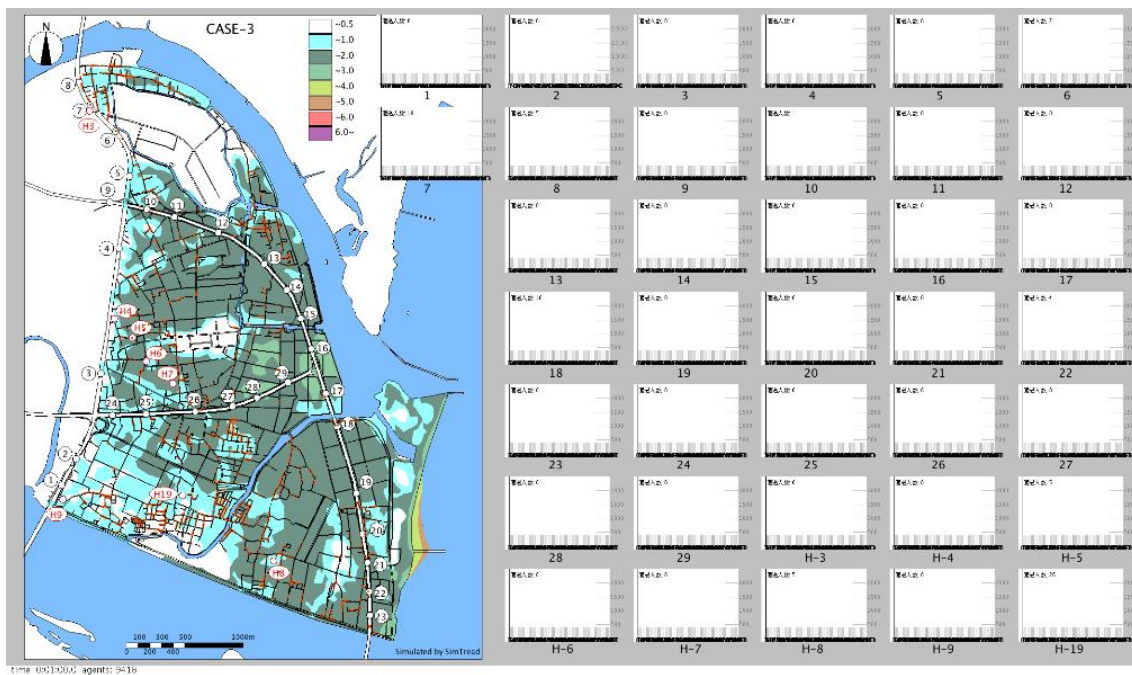


図 38 ケース 3： 60 秒後

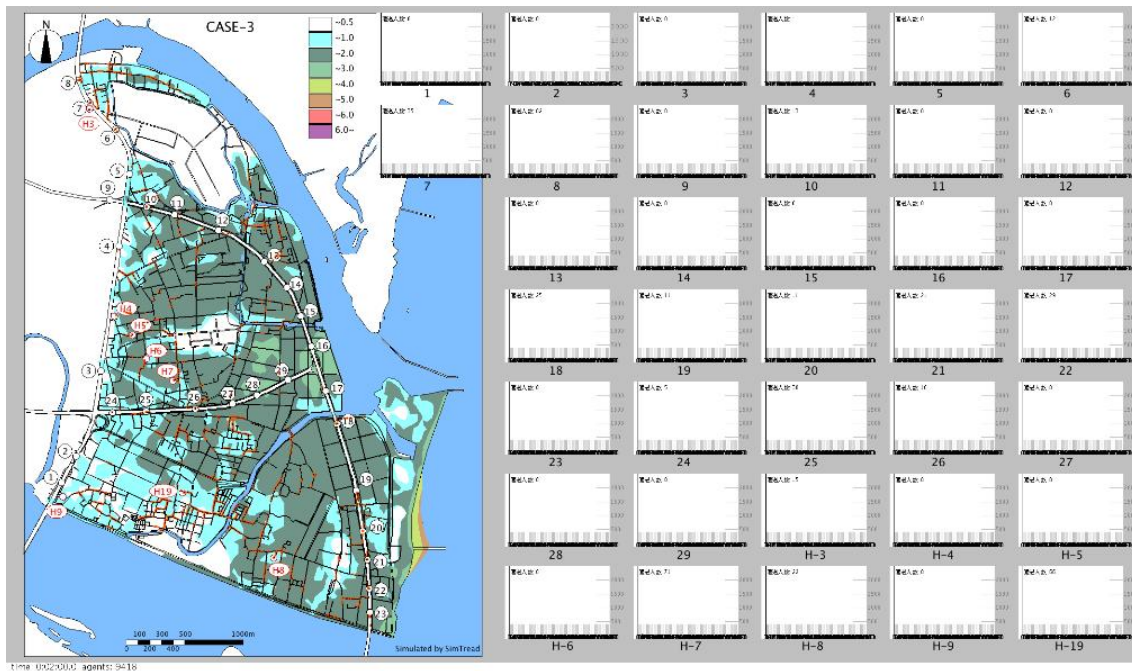


図 39 ケース 3： 120 秒後

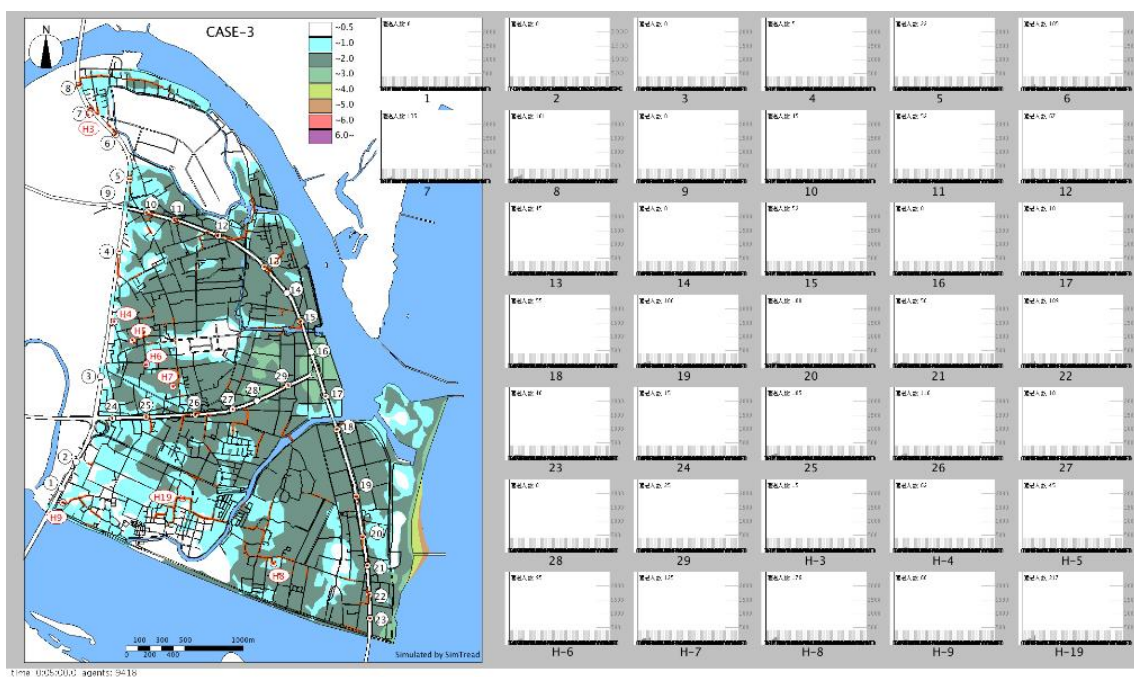


図 40 ケース 3： 300 秒後

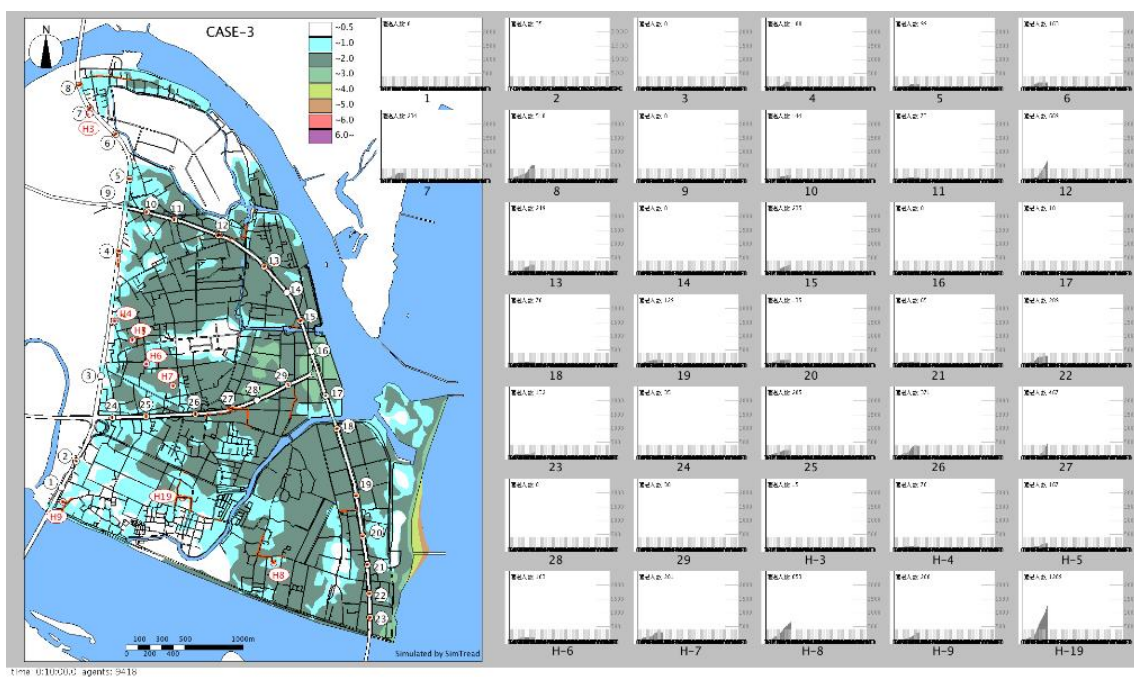


図 41 ケース 3： 600 秒後



図 42 ケース 3： 900 秒後



図 43 ケース 3： 1200 秒後

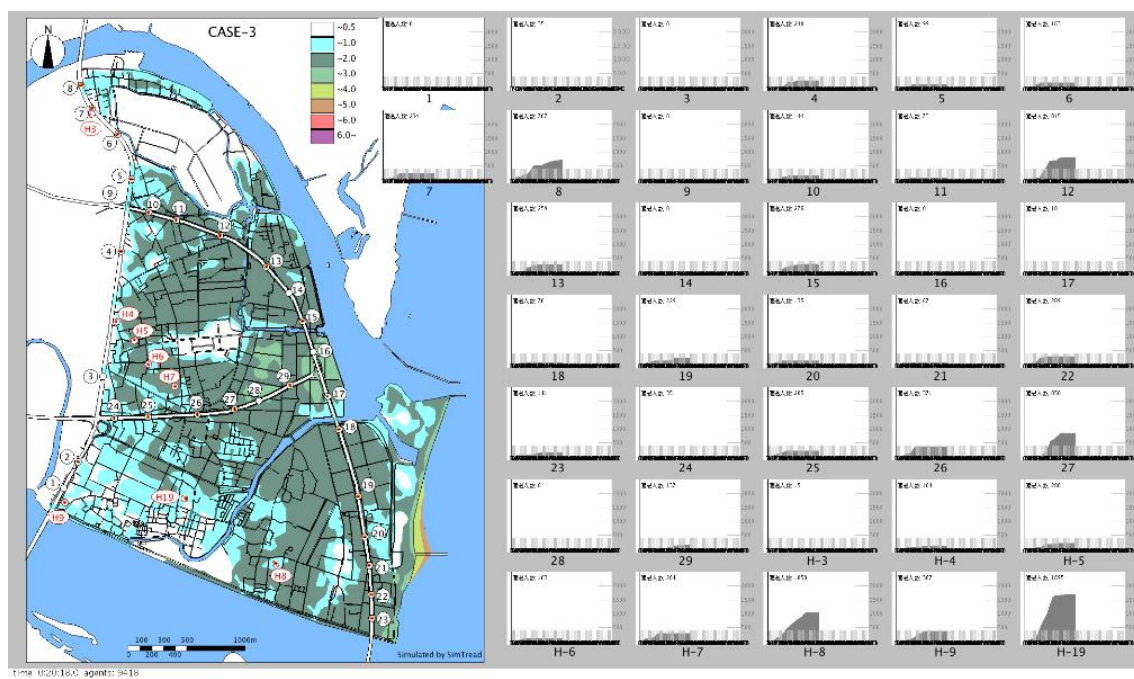


図 44 ケース 3： 1214 秒後（避難終了）

表2 ケース3： 各目的地への避難状況一覧

計測地点名	最大人数	避難終了時間	
	[人]	[sec]	[min]
Point1	-	-	-
Point2	35	554.2	9.2
Point3	-	-	-
Point4	248	708.0	11.8
Point5	99	390.2	6.5
Point6	163	380.0	6.3
Point7	234	410.0	6.8
Point8	707	1143.0	19.1
Point9	-	-	-
Point10	144	523.0	8.7
Point11	73	348.6	5.8
Point12	815	1049.0	17.5
Point13	259	698.2	11.6
Point14	-	-	-
Point15	276	872.2	14.5
Point16	-	-	-
Point17	10	223.4	3.7
Point18	70	382.0	6.4
Point19	229	893.4	14.9
Point20	135	398.0	6.6
Point21	67	1216.4	20.3
Point22	289	573.0	9.6
Point23	141	683.4	11.4
Point24	35	398.0	6.6
Point25	205	438.6	7.3
Point26	371	488.8	8.1
Point27	850	880.4	14.7
Point28	-	-	-
Point29	137	1051.4	17.5
HB-3	15	122.2	2.0
HB-4	104	716.2	11.9
HB-5	208	816.6	13.6
HB-6	103	308.6	5.1
HB-7	284	605.4	10.1
HB-8	1050	959.2	16.0
HB-9	367	681.2	11.4
HB-19	1695	989.4	16.5

参考文献

- 7) 徳島県：徳島県沿岸における津波高報告書、平成23年12月21日
http://anshin.pref.tokushima.jp/normal/earthquake/news.html?cid=earthquake_damage&nid=132445820376
- 8) 徳島県：「暫定津波浸水予測図」、平成23年12月21日
<http://www.pref.tokushima.jp/docs/2012012100058/>
- 9) 木村 謙ら：マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現 ～ 歩行者シミュレ

ーションシステム SimTread の構築、日本建築学会計画系論文集 No.636, Vol.74, pp371-377 (2009.02.28)

- 10) A&A : 歩行者シミュレーションソフト、シムトレッド

<http://www.aanda.co.jp/products/simtread/index.html>

- 11) 総務省 : 平成 17 年国勢調査「男女別人口総数及び世帯総数」、政府統計の総合窓口「地図で見る統計 (統計GIS)」より

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/toukeiChiri.do?method=ini>

- 12) 徳島市総合防災マップ、平成 23 年 3 月

http://www.city.tokushima.tokushima.jp/kiki_kanri/pdf/bosai_map/tunami/kawauchi_ojin.pdf