

避難シミュレーションによる津波避難施設の評価

Spatial Evaluation of Tsunami Refuge Facilities Utilizing Evacuation Simulation

北海道大学大学院工学研究科 建築都市空間デザイン専攻 大畑 大志郎
鏡味 洋史
高井 伸雄

1.はじめに

津波による被害は甚大となることが予測され、対策が急がれているものの、津波避難施設の確保が遅れている実態がある。北海道の過去の地震による津波の履歴が阿部(1987)¹⁾によって報告されているように、北海道太平洋沿岸東部は津波の危険度が高く、とりわけ、中核都市である釧路市において津波対策は緊急の課題である。津波の被害を軽減させるための対策としては迅速かつ適切な避難行動が挙げられる。群集避難において、その避難行動を構成する避難者は独立した個体であり、各々が行動特性を持っているため、実際の避難行動は大規模になるほど複雑化する。多様な行動の連鎖で全体の避難が構成されている大規模の群集避難を対象としたシミュレーションにおいては個人の行動を考慮し、避難者の相互作用を間接的にシミュレートするモデルが有効となる。

齋藤・鏡味(2004)²⁾による研究ではマルチエージェントシステムを用い、奥尻島青苗地区における1993年北海道南西沖地震の際の津波からの避難行動についてシミュレーションモデルを構築し、結果から算出した要避難時間、死亡・行方不明率を村上・他による「1993年北海道南西沖地震・津波による人的被害と住民避難行動に関する調査」(1994)³⁾と比較した結果、概ね良い再現性を示したことで、モデルの妥当性が示された。このモデルの対象地域では比較的近い位置に存在する高台を最終的な避難場所としている。しかしながら、一般に海岸平野部においては標高差が少なく、高台が得られない場合が多く、建造物への避難が考えられている。

以上を踏まえ、本研究では釧路市中心市街地における津波からの避難シミュレーションモデルを構築し、実行結果から、避難者の避難行動、現在釧路市が指定している津波避難施設配置の評価を行い、海岸平野部市街地における津波避難の問題点を見出すことを目的とする。

2. 釧路市の津波履歴と対応

2.1 過去の津波被害

釧路市災害対策本部によると、2003年十勝沖地震の釧路での津波の最大高さは120cmであり、193名が一時避難を行った。

都司・荒井(1994)⁴⁾の調査報告によると1994年北海道東方沖地震では釧路港の水位が1m上昇したのが観測され、最大97cmの津波による潮位偏差(正味の水位上昇量)を記録した。旧釧路川沿いのホテルが一戸床上浸水した。

それ以前の地震による北海道の津波の波高は阿部(1987)¹⁾にまとめられている。太平洋沿岸のものを抜き出し、表1に示す。

表1.北海道太平洋沿岸の市町村別津波波高(m)

	十勝沖 1843年	根室沖 1894年	十勝沖 1952年	チリ 1960年	十勝沖 1968年	根室沖 1973年
根室市	3.0	1.5	3.1	3.2		6.0
浜中町			3.8	4.3	2.0	4.5
厚岸町	5.0	2.0	3.9	4.1		2.5
釧路町			6.5	3.2		2.0
釧路市		1.0	2.8	3.2		
白糠町			2.7	4.0		
音別町				4.0		
浦幌町			1.7	2.6		
豊頃町			2.7	4.0		
大樹町			3.3	2.5	2.7	
広尾町			3.3	2.8	2.7	
えりも町			2.9	3.9		

2.2 津波に対する釧路市の現況の取り組み

釧路市では1993年、多くの犠牲を出した北海道南西沖地震に学び、津波調査を防災対策の最重要課題として行った。釧路から根室の沖合でM8クラスの地震により津波が発生した場合の影響について調査が行われた。この結果は冊子「津波防災マップ」にまとめられ、津波対策として市民に配布が行われた。この冊子には市中心部を含め、合計11区画の地域について津波浸水予想区域や津波避難施設の設置場所が掲載されている。現在では改訂版として津波ハザードマップ「くしろ安心マップ」(縮尺:1/16000)が配布されている。ハザードマップは11区画分の地域が一目で確認できるよう、表裏一枚のものとなっている。津波浸水予想区域は市中心部に集中しており、特に橋北地区においては海岸、釧路川沿いを中心として地盤からの浸水深が1m未満とされる予想区域が広がっている。

釧路市防災会議による地域防災計画では津波来襲に備え、津波浸水予想区域に立地するホテル等の協力を得て、津波緊急一時避難施設と津波避難指定校等を指定し、万一の際、市民がそれら施設を利用し、安全確保できるよう準備を行っている。

3.津波避難施設への避難行動シミュレーションモデルの構築

3.1 モデル概要

本モデルは、地震による津波来襲時、釧路市中心市街地の住民が指定された最寄の津波避難施設へ向かう避難行動の様子を視覚的に捉え、住民が避難開始から最寄の津波避難施設に到着し、避難完了するまでに要した時間や時間毎の避難率等の記録が可能となる設定を行った。住民を住民エージェント(津波避難施設の場所を知っている人・知らない人の2種類を設定)として定義し、初期位置・避難開始時刻・移動速度の情報等を変数として与え、最寄の津波避難施設に対して最短経路で移動するルールを設定した。地震発生直後からの避難経路については奥尻島青苗地区モデル²⁾と同様のネットワーク型(道路をリンク、道路網の交差点をノードで表現)を用いた。住民エージェントの他にはノードをノードエージェントとして定義した。ノードエージェントはそのほとんどが道路網の交差点を表しているが、そのうち幾つかは指定された津波避難施設としての役割も担っている(このノードエージェントに住民エージェントが到達した時点で避難完了とする)。そして道路の接続状態・リンクしているノードエージェントとなす角度の情報等を変数として与えた。

奥尻島青苗地区モデル²⁾では標高のより高いノードを目指して住民エージェントが経路選択を繰り返すルールを設定したが、釧路市中心市街地は標高差があまりないため、標高については考慮せず、最寄の津波避難施設に対する角度計算から最短経路でノード上を移動するルールを設定した。

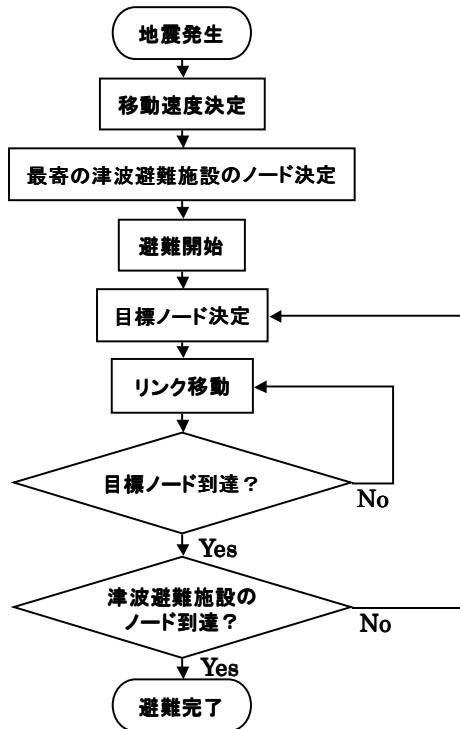


図 1.知っている人の行動フロー

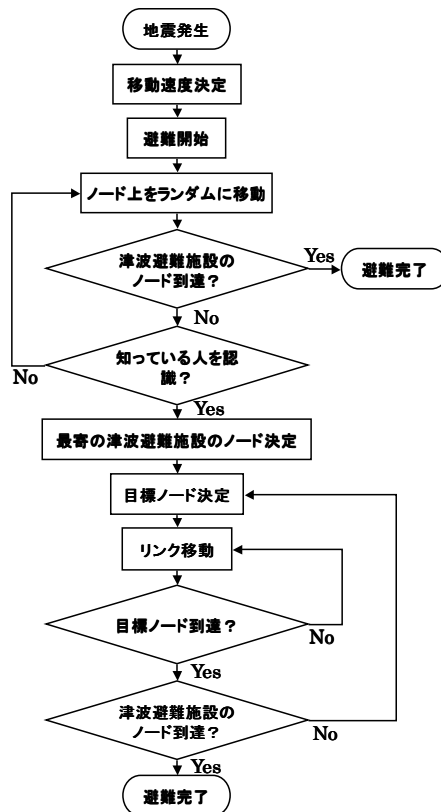


図 2 知らない人の行動フロー

3.2 エージェントの定義

住民エージェントのうち、知っている人はシミュレーション開始直後、自らの初期位置と全ての津波避難施設の距離を計算し、最寄の津波避難施設を目標場所として避難行動を開始する。その際、性別・年齢階層から決定される移動速度でノードとリンクにより構成される道路網上を移動する。本モデルは住民エージェントの移動速度を1秒=1ステップとして表現できるよう設定を行った。避難行動を開始した住民エージェントは目標とした最寄の津波避難施設に対して最短となるように目標ノードを決定し、目標ノード到着後、次の目標ノードを決定する。これらの基本的ルール(図3)を繰り返し、目標とした津波避難施設に到着した時点で避難完了とする。知らない人はシミュレーション開始時には津波避難施設場所に関する情報がないため、ノード上を性別・年齢階層から決定される歩行速度で道路網上をランダムに移動しているが、知っている人を自分の周囲で認識すると、そこから情報を得て知っている人と同様のルールで津波避難施設へ向かう。津波避難施設は行き止まりのノードエージェントとして扱った。

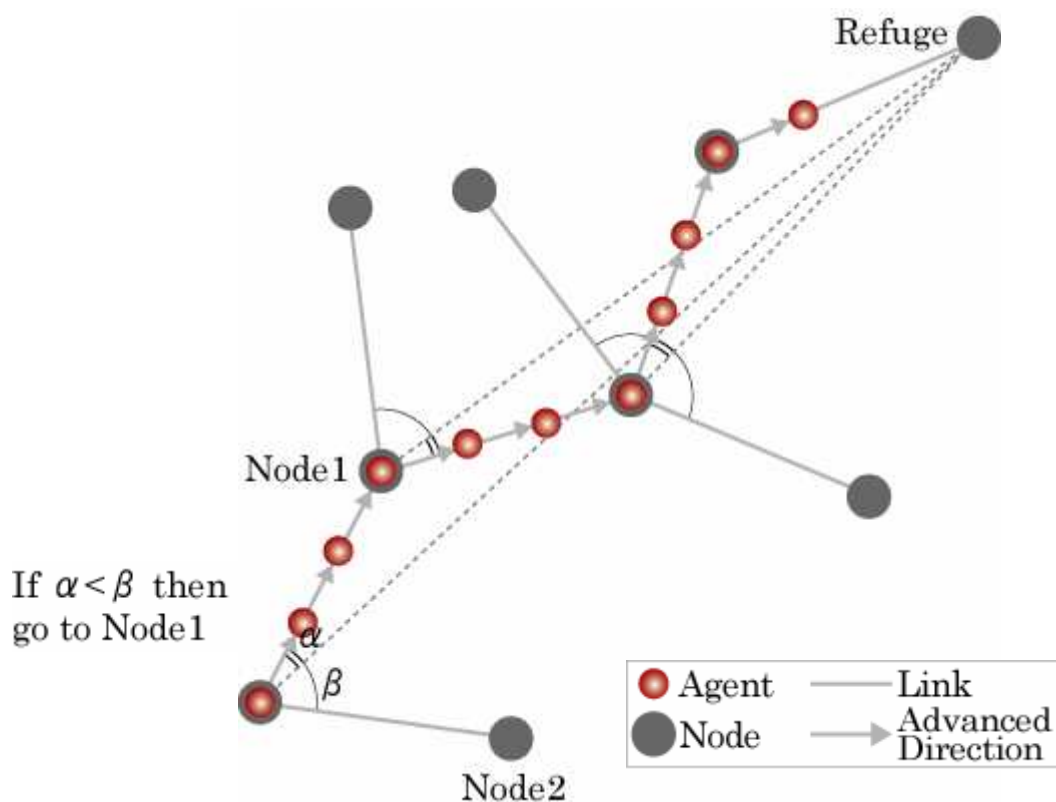


図3.住民エージェントの基本的行動ルール

4. 釧路市中心市街地への適用

4.1 シミュレーション環境の設定

シミュレーション対象地域を釧路市中心市街地(仲浜町、寿、南浜町、浪花町、幸町、黒金町、錦町、北大通、末広町、栄町、川上町、旭町)とし、住民エージェントの初期位置は住民基本台帳(平成16年)を基に町丁目内のノード上にランダムに決定し、町丁目毎の人口分布(合計5052人)が表現されるよう設定を行った。ベースマップは「くしろ安心マップ」を基に作成を行った。同地図には津波浸水予想区域が記載されており、中心市街地では一部が浸水予想区域から除かれているものの、標高差は0~2m程度しかなく、想定より大きな津波が来襲した場合、予想区域外においても住民は津波から避難を行う必要があるため、津波浸水予想区域と区域外の扱いについて差異は設けないことにした。また、同地図の対象地域内に表記されている津波避難施設(指定避難施設兼津波緊急一時避難施設3箇所、指定避難施設8箇所、津波緊急一時避難施設5箇所)のうち、現地調査・津波避難ビル等に係るガイドライン⁵⁾を参考に指定避難施設兼津波緊急一時避難施設3箇所、指定避難施設5箇所、津波緊急一時避難施設5箇所を配置した(図4)。

釧路市防災会議による地域防災計画では、津波来襲時における指定避難施設兼津波緊急一時避難施設・津波緊急一時避難施設の収容人数は定められているが、指定避難施設の収容人数は24時間開放するのが不可能であるという理由から定められていない。その為、本研究では便宜的に、津波来襲時における指定避難施設の収容人数は災害による住居の倒壊、焼失等で住居を失った者を収容し、保護することを目的として定められた緊急避難施設としての収容人数を利用した(表2)。

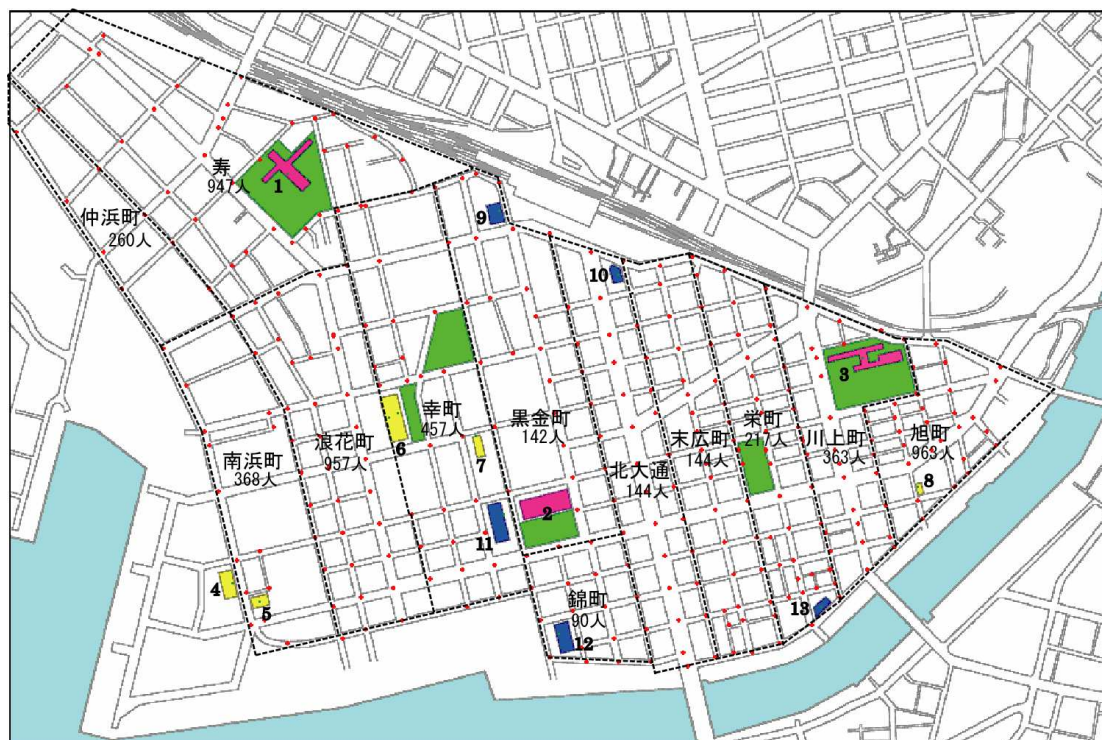


図4. 釧路市中心市街地の丁丁目毎の人口・避難施設の分布

表 2.避難施設毎の収容人数

	避難施設	避難施設名	収容人数(人)
指定避難施設 兼津波緊急一時 避難施設	1	寿小学校	191
	2	市役所	103
	3	旭小学校	192
指定避難施設	4	釧路市消防本部	97
	5	釧路港湾合同庁舎	151
	6	釧路地方合同庁舎	176
	7	交流プラザ幸	357
	8	総合福祉センター	258
津波緊急一時 避難施設	9	釧路ロイヤルイン	200
	10	釧路東急イン	200
	11	釧路プリンスホテル	245
	12	釧路全日空ホテル	400
	13	釧路パシフィックホテル	450

4.2 避難開始時刻・移動速度の設定

避難開始時刻・移動速度の設定は吉井(2004)⁶⁾による 2003 年十勝沖地震に関する緊急調査のアンケート調査結果を参考に設定を行った。アンケート調査結果によると、その際、走って避難したという報告はほとんどされていない為、本モデルでは住民は全員歩行によって避難行動を行ったと仮定する。移動速度は性別と年齢階層を、釧路市がインターネット上で公開している年齢階級別人口統計資料(平成 16 年)を基に割合を算出し、年齢と自由歩行速度の関係の資料⁷⁾を基に、性別と年齢階層毎に設定を行った。さらに、個人差を発生させるために、それぞれの移動速度の値に±0.3m/sec が含まれる設定を行った(表 3,4)。

表 3.避難開始時刻とその割合

避難開始時刻	割合
0～2.5min	10%
2.5～5.0min	15%
5.0～7.5min	20%
7.5～10.0min	30%
10.0～12.5min	15%
12.5～15.0min	10%

表 4.年齢区分・性別毎の移動速度

年齢区分(歳)	人口構成比(%)	男性(%)	女性(%)	男性の移動速度	女性の移動速度
10～19(歳)	11%	52%	48%	1.32(m/sec)	1.27(m/sec)
20～29(歳)	13%	50%	50%	1.43(m/sec)	1.25(m/sec)
30～39(歳)	14%	49%	51%	1.50(m/sec)	1.18(m/sec)
40～49(歳)	14%	49%	51%	1.38(m/sec)	1.24(m/sec)
50～59(歳)	19%	48%	52%	1.26(m/sec)	1.11(m/sec)
60～69(歳)	15%	47%	53%	1.13(m/sec)	1.00(m/sec)
70～79(歳)	14%	45%	55%	0.96(m/sec)	0.87(m/sec)

5.津波避難施設配置のケーススタディ

5.1 シミュレーション実行・結果

釧路市地域防災計画によると、釧路市は釧路沖・根室半島沖の海底下で地震が発生した場合、極めて短時間に津波が来襲するため、地震発生後、気象台等の津波情報または海面に異常を認めた際は沿岸住民に対し、高台、津波緊急一時避難施設、広域避難場所に避難することを原則として決めている。本モデルでは釧路市が現在津波対策として定めている津波避難施設を現況の津波避難施設(指定避難施設兼津波緊急一時避難施設 2 箇所、津波緊急一時避難施設 5 箇所)と呼ぶことにする。それらを踏まえた上で、ケース(i)~(iii)についてシミュレーション設定を行った。

ケース(i):地震発生後、住民が現況の津波避難施設を利用せず、JR 線以北(北中・旭跨線橋以北)の 2 箇所のみを海岸線からより遠い避難場所として避難行動を行った場合

ケース(ii):ケース(i)に現況の津波避難施設を避難場所として加え、住民が避難行動を行った場合

ケース(iii):ケース(ii)に指定避難施設兼津波緊急一時避難施設 1 箇所、指定避難施設 5 箇所を加え、住民が避難行動を行った場合

また、ケース(ii)とケース(iii)の結果をより詳しく検討するため、指定避難施設の配置状況から対象地域をエリア 1~3 に分けた(図 5)。対象地域の住民エージェントは避難施設的位置を 100%認知していると仮定した。全てについて 10 回ずつシミュレーションを実行し、平均値を算出した。実行結果を図 6~12 に示す。

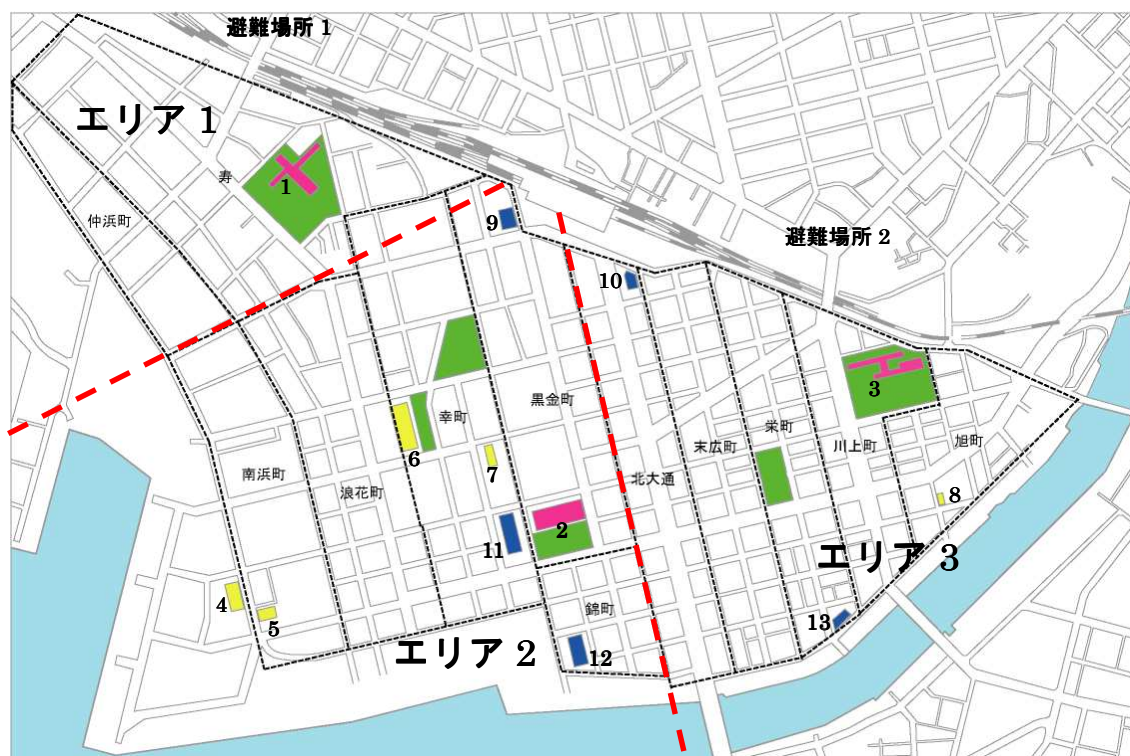


図 5.エリア区分図

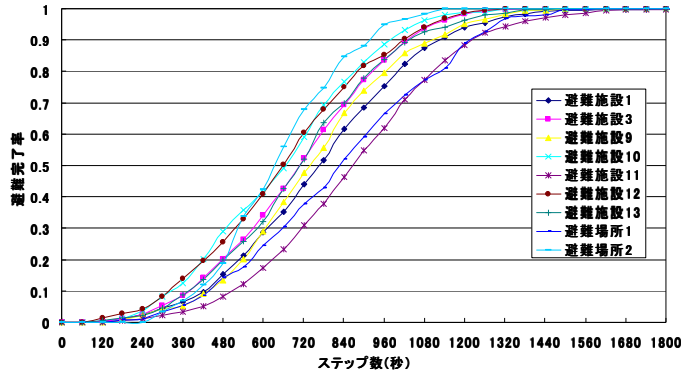


図 6. ケース(ii)の避難施設毎の避難完了率

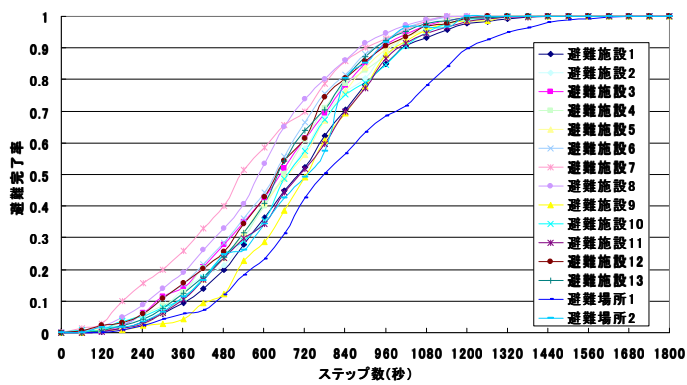


図 7. ケース(iii)の避難施設毎の避難完了率

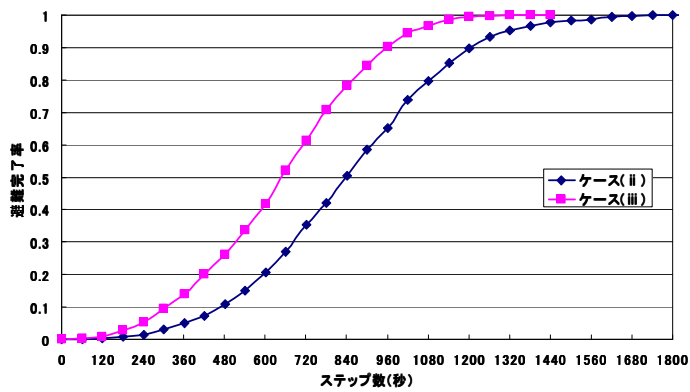


図 8. エリア 2 の避難施設の避難完了率

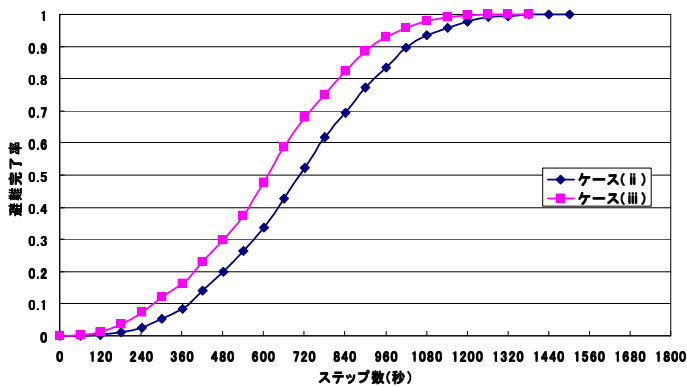


図 9. エリア 3 の避難施設の避難完了率

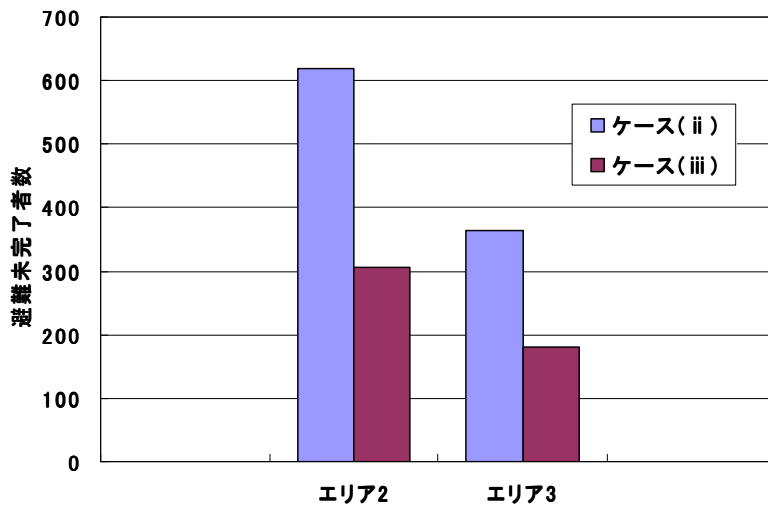


図 10. エリア毎の避難未完了者数(地震発生から 15 分後)

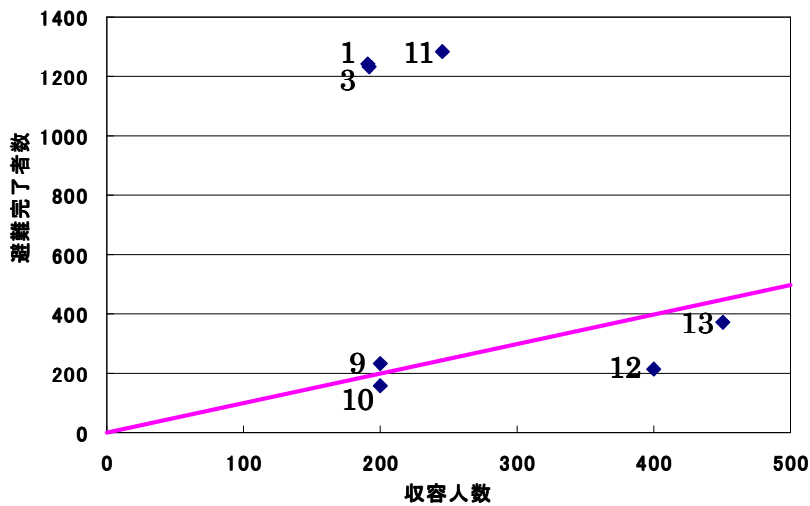


図 11. ケース(ii)の施設毎の収容人数と避難完了者数

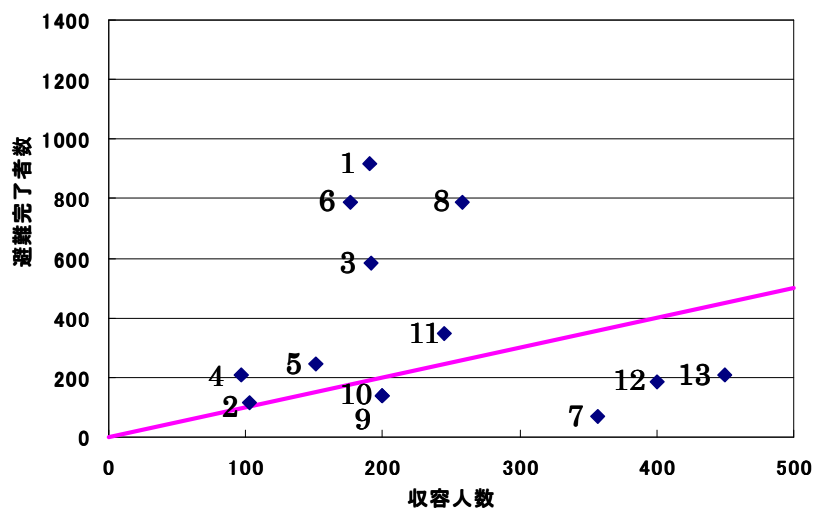


図 12. ケース(iii)の施設毎の収容人数と避難完了者数

5.2 考察

対象地域の住民が全員避難完了するまでの要避難時間をケース(i),(ii)で比較した場合、約1200ステップ(秒)=20分の差があった。これは海岸平野部で高台の確保が難しい市街地における津波避難施設の果たす役割の重要性を示している。図6,7より、ケース(ii)では要避難時間は避難施設11,避難場所1の周辺住民に、ケース(iii)でも避難場所1の周辺住民によっており、全体の要避難時間が津波浸水予想区域外のエリア1の住民によっていることがわかる。図8,9より、指定避難施設の設置により、エリア2における要避難時間は約420ステップ(秒)=7分、エリア3では約120ステップ(秒)=2分短縮された。エリア2,3ともに、指定避難施設の設置による効果は得られたが、特に設置数の多いエリア2においてその効果が大きかった。図10は地震発生から15分後に津波が来襲したと仮定した場合のエリア2,3のケース毎の避難未完了者数の比較である。ここでも、指定避難施設の設置による効果が見て取れる。指定避難施設の設置数がエリア2は5箇所、エリア3では1箇所であることから、単純に設置数を増やすだけではなく、適正な配置をすることでより大きな効果が期待できると考えられる。図11,12から、ケース(iii)においても人口に対する避難施設の収容能力が不足している現状が見て取れる。特に避難施設3,8が利用される旭町,川上町は人口も多く、津波浸水予想区域に指定されており、早急な対策が必要とされる。

6. 津波避難施設の場所を知っている人の全体の人口に占める割合に関するケーススタディ

6.1 シミュレーション実行・結果

過去の地震によるアンケート結果等から、地震発生後、津波避難施設の場所を予め知っているか知らないかによって、避難行動には違いが生じることが予測される。釧路市中心市街地は観光地として外部からの滞在者が比較的多い地域である。その為、予め津波避難施設の場所を知っている人に知らない人が追従するようなモデルを構築し、対象地域における知っている人・知らない人の全体の人口に占める割合を変化させることで全体の避難状況がどのように変化するかを調べることは地震時の津波からの避難行動を考える上で重要である。

本ケーススタディでは住民エージェントを2種類(前述した、知っている人・知らない人)用い、対象地域における知っている人の全体の人口に占める割合を100,50,30,10,1%と変化させ、現況の津波避難施設を用いた場合(ケース(ii))とそれに指定避難施設を加えた場合(ケース(iii))全てについて10回ずつシミュレーションを実行し、平均値を算出した。実行結果を図13,14に示す。

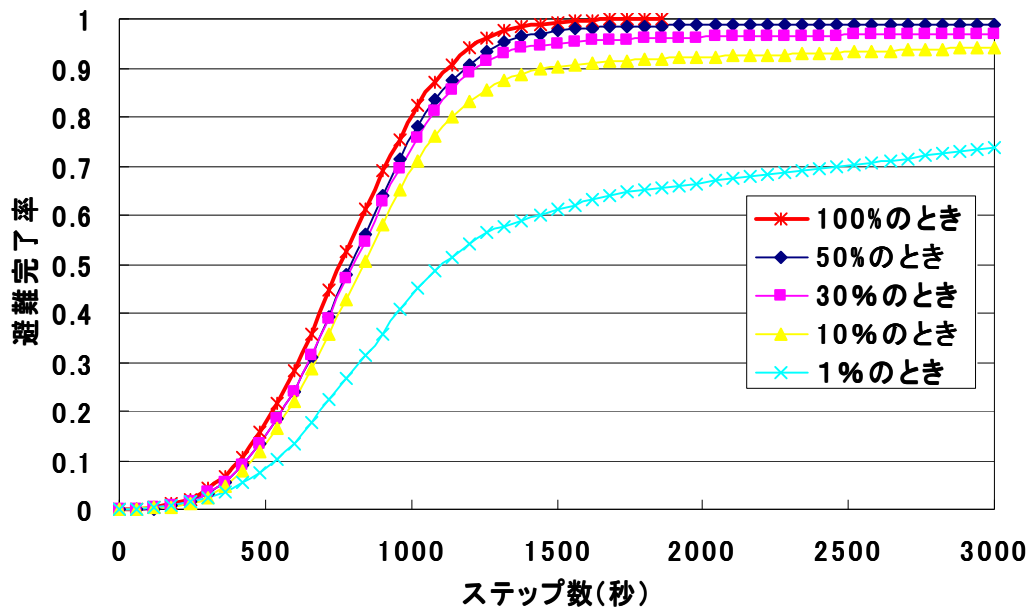


図 13.知っている人の全体の人口に占める割合と避難完了率
ケース(ii)のとき

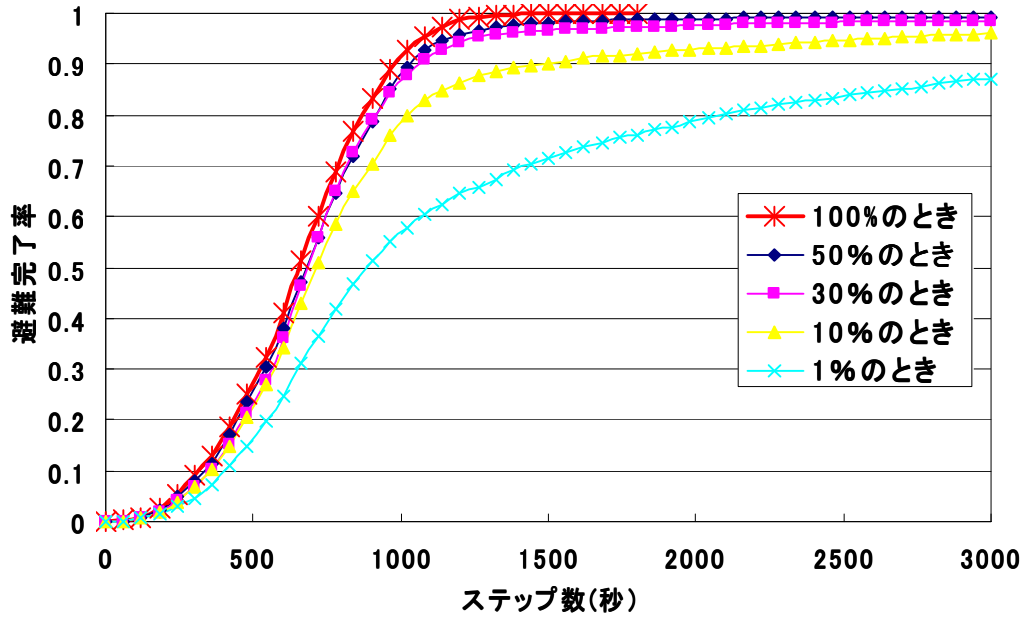


図 14.知っている人の全体の人口に占める割合と避難完了率
ケース(iii)のとき

6.2 考察

図 13,14 より、ケース(ii),(iii)いずれの場合もシミュレーション開始から 1000 ステップ(秒)時点において、全体の人口に占める、知っている人の割合が 1%の際に避難完了率が顕著に低くなっている。また、いずれのケースにおいても 100,50,30,10%の際には大きな差は見られない。この結果より、予め避難施設の場所を知っている人の全体の人口に占める割合が 10%より小さくなった場合、全体の避難完了率の低減に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

ケース(iii)における全体の人口に占める、知っている人の割合が 1%の時間毎の避難完了率がケース(ii)のそれより常に大きくなっているのは、避難施設の数による効果が考えられる。この効果により、3000 ステップ内で避難完了率曲線の傾きが大きいケース(iii)の方がより早く全員の避難が完了可能だと予測できる。全体の人口に占める、知らない人の割合が高いほど、避難施設の設置数が避難完了率の増加に繋がりと推測される。

7.まとめ

本研究では釧路市中心市街地における津波からの避難シミュレーションモデルを構築し、実行結果から、津波避難施設配置の評価を行った。海岸平野部で高台の確保が難しい市街地における津波避難施設の果たす重要性を再確認できた。津波来襲時、現況の津波避難施設を利用したケースとその他の指定避難施設も併用したケースを比較すると、エリア毎にその影響は異なったが、両エリアともに要避難時間を短縮させ、避難未完了者数を減少させる効果が認められた。また、気象庁⁸⁾の具体的な記録(2003 年十勝沖地震の際、地震発生後、釧路市への津波到達時間は 16 分であった)から、両エリアのケース毎の具体的な避難未完了者数を算出、比較することにより、指定避難施設の設置による効果を示した。単純に避難施設の設置数を増やすだけでなく、効果的な配置によってその設置数をも上回る効果を期待できるケースも存在することがわかった。各避難施設毎の収容人数についてもある程度の効果がみられたが、人口に対する避難施設の収容能力が不足している問題を解決するには至らない地域が幾つか存在することが明らかになった。また、津波浸水予想区域の中でも、とりわけ、旭町、川上町が危険地域であることを具体的に示した。

本モデルでは人口分布に対する配置を評価するため、津波避難施設の収容能力に限界を設けなかった。次の段階では容量制限による代替施設への移動、住民エージェントの滞留、その際の処理ルールを加えていく必要がある。また、津波からの避難には避難施設に到達するまでの市街地避難と到達後の建物内避難が完了するまでの時間が実際の要避難時間であるため、今後は建物内避難についても詳しく検討していく必要がある。

今世紀前半にも発生の恐れがあるとされる東海・東南海・南海地震による津波被害が予測される地域においても、本モデルのような津波からの避難シミュレーションツールを適用し、得られた結果から、危険区域の住民の津波に対する知識・認識を高めていく対策を行政等が講じ、被害を軽減させる対策を早急に行うことが望まれる。

参考文献

- 1) 阿部勝征：北海道における大津波の履歴,北海道における地震災害の地域特性に関する調査研究,北海道総務部防災消防課,pp43-54,1987年.
- 2) 齋藤崇・鏡味洋史：マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション-奥尻島青苗地区をモデルとして-,日本建築学会計画系論文集 第 569 号,pp229-234,2005 年 10 月.
- 3) 村上ひとみ・他：1993 年北海道南西沖地震・津波による人的被害と住民避難行動に関する調査,日本建築学会北海道支部研究報告集 No.67,pp157-160,1994 年.
- 4) 都司嘉宣・荒井賢一：北海道東方沖地震の津波,北海道東方沖地震及びその被害に関する調査報告,平成 6 年度文部省科学研究費調査研究成果報告書,pp181-190,1994 年.
- 5) 津波避難ビル等に係るガイドライン：内閣府政策統括官(防災担当),http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/tsunami_guideline.html
- 6) 吉井博明：2003 年十勝沖地震時における津波危険地区住民の避難行動実態,2003 年十勝沖地震に関する緊急調査 津波被害に対する避難行動調査グループ調査報告集,2004 年 3 月.
- 7) 日本建築学会編：建築設計資料集成〔人間〕,p.59,丸善,2003 年.
- 8) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>