

高齢化社会における大規模水害時の避難 に関する一考察

A STUDY OF EVACUATION IN AN AGING SOCIETY IN CASE OF A LARGE-SCALE FLOOD DISASTER

町田 岳¹・曾田 康秀¹・幸 弘美¹・竹下 幸美¹

Gaku MACHIDA, Yasuhide SOTA, Hiromi YUKI and Yukimi TAKESHITA

¹ 株式会社東京建設コンサルタント 本社 環境防災事業本部(〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-15-6)

1. はじめに

(1) 高齢化社会における人的被害の予測

近年,各地で発生する風水害における犠牲者については高齢者の割合が高いことが指摘¹⁾されており,高齢化が急速に進展している現在,高齢者の避難対策は猶予の許されない課題となっている.特に身体・認知機能面で制約を抱える高齢者等については,災害時に自力での避難が難しくなるといったことから,避難行動要支援者として位置付けられ,避難にあたって家族や近隣住民からの避難支援が得られない場合,避難から取り残され,人的被害を拡大させる一因となることが危惧されている.

一方で,このような高齢化社会の進展に伴う防災面での脆弱性の深刻化が指摘されて久しいものの,実際に将来的に高齢化率がさらに高くなった場合に,どの程度人的被害の規模が拡大するのか定量的に予測を試みるような既往研究は管見では見いだせなかった.そこで本稿では,まず首都圏を貫流する荒川下流域の江東デルタ地域を検討対象地域に選び,対象地域の人口統計データ及び将来人口推計データをもとに過去人口,現在人口,将来人口という次第に高齢化率が高くなっていく各々の年齢人口構成比に基づく避難シミュレーションを行い,一定の浸水想定条件及び避難シナリオのもとで高齢化率の高まりによりどの程度人的被害が拡大するかを定量的に予測する試算を行った.

(2) 高齢者避難支援対策の効果の把握

本稿では,上記の将来的な高齢化率の高まりに伴う人的被害の予測に加え,現在,各地で取り組まれている家族や近隣住民の共助による高齢者等の避難支援対策

にも着目した検討を行うものとした.この点に着目する理由としては,これまで二度にわたり内閣府が示した高齢者等の避難行動要支援者の共助による避難支援の指針の公表により各地で避難支援の取組が進められているにもかかわらず,それが高齢者等の避難行動要支援のプライバシーの問題や避難支援者の責任問題などの入り口論に終始することが多く,そうした入り口論を超えて,共助による避難支援策がどの程度効果があるかという観点での議論が少なかったという背景が挙げられる.本稿では,こうした背景を踏まえ,一定の条件のもとで共助による高齢者等の避難支援策が実施された場合の効果の把握を試みるものとした.具体的には,共助による避難支援シナリオを追加した避難シミュレーションを行い,どの程度人的被害の低減に効果があるか定量的な効果の把握を行った.さらに,これらの効果の把握を踏まえ,共助による避難支援策の有効性やその課題面についても明らかにするとともに,本稿の結論の適用の範囲や限界にも留意しつつ,高齢化社会における大規模水害時の避難対策の在り方について考察することとした.

2. 避難シミュレータ

(1) 検討に用いた避難シミュレータの概要

避難対策の検討には,実際の避難者の行動を反映した避難シミュレータに基づく検討が有効である.本検討に用いた避難シミュレータは,既存の避難シミュレータの課題を踏まえ,実際の避難者の行動をリアルに再現できるよう自社で独自に開発したものである.以下ではその概要を示す.

既存の避難シミュレータでは,周囲の見通しの良さや浸

水域からの位置関係による経路選択の際の指標を表す評価関数と、ダイクストラ法²⁾などの最短経路選択法を組み合わせることにより、避難者の経路選択が実現されている^{3),4)}。また各リンク上での歩行者の群集密度を算出し、群集密度や疲労度、その他年齢などによる避難者の属性を考慮した歩行速度を用い、現実的な避難行動に近いモデルが実現されている⁵⁾。

一方で、これらの既存避難シミュレータでは避難経路における道路の横断が考慮されておらず、各避難者が道路のどの部分を通るかは不定である。また、避難時には、歩行者が車道上を横断することが予想されるにもかかわらず、信号のない交差点で、歩行者の横断が車の走行を妨げるなどの人-車相互作用が考慮されていない。したがって歩行者の道路横断や人-車相互作用を考慮していないモデルは、都市部における大規模な避難行動を記述するには不十分であると考えられる。

避難者の避難経路上の位置を考慮した避難モデルとしては、歩行者間の相互作用^{6),7),8)}や歩行者と車、車と車の間の相互作用⁹⁾を考慮したマイクロシミュレーションモデルが提案されている。しかしながらこれらの相互作用を含めたマイクロモデルでは、群集密度が高くなるにつれて、要素間の重なりを避けるために計算時間間隔を短くする必要があり、大規模数値計算では計算コストが大きくなるという欠点がある。

一方、各エージェントが決められたセルを占有するセルオートマトン(CA)法¹⁰⁾では、2つ以上のエージェントの同一セルの占有は禁止される。従って、エージェントの重なり問題は初めから除外され、群衆の重なりによる被害者数の誤差は必然的に回避される。また車と徒歩の双方にエージェント登録用配列を導入することにより、群集密度の増大による近傍エージェントとの相互作用による計算コストの増加を回避することができる。以上から、車と徒歩双方にCA法を適用したモデルは、避難者数が数十万を越えるような大規模避難シミュレーションに適していると言える。

以上を踏まえ、本検討ではCA法と道路ネットワークを組み合わせた車両徒歩統合型避難行動モデルを構築することで、上記の既存避難シミュレータの課題を解決し、都市部における大規模な避難行動を適切に記述できる避難シミュレータを用いることとした。

(2) 車両徒歩統合型避難行動モデルの概要

本モデルでは、車道および歩道に対して、道路ネットワークを構築し、歩行エージェントと車両エージェントそれぞれの目標点に対してダイクストラ法を用いた経路検索を行い避難経路を設定する。

(3) エージェント登録用配列の導入

CA法における歩行エージェントの動きは、その周辺の歩行エージェントの影響を受ける。各道路リンクを一边 ω ($= 40\text{cm}$)の正方形セルで区切った場合、一つのセルに一人の歩行者を収めることができる。したがって各歩行エージェントの位置は、歩行者のいる道路リンク L および L を一边 ω の正方形セルで区切った場合のセル座標 (n_x, n_y) を組み合わせた位置座標 (n_x, n_y, L) で表される。以下では、この位置座標値を引数とする歩行エージェント登録配列 $P_w(n_x, n_y, L)$ を導入し、歩行者のいる座標値にはその歩行者を識別するための歩行者IDを、歩行者のいない座標値には-1を代入しておく。車エージェントの位置座標としては、車両のいる道路リンク L 、車両通行帯の車線番号 I_x 、縦断方向のセル座標 n_y を組み合わせた位置座標 (I_x, n_y, L) を用いる。以下では、この位置座標値を引数とする車両エージェント登録配列 $P_c(I_x, n_y, L)$ を導入し、車両の占める座標値にはその車両IDを、車両のいない座標値には-1を代入しておく。各避難エージェントに対する近傍エージェントの有無やその位置は、そのエージェントの位置座標値におけるエージェント登録配列の値からもとめることができる。

(4) CA法における徒歩エージェントの移動規則

基本的に各リンク上の避難者の移動方向は隣接するセル(上下左右斜め)の8方向とする¹¹⁾が、避難者の移動方向は、必ずしも道路リンクの縦断方向に沿ったものではない。したがって、道路リンク L 内の歩行座標値 $E(I_x^E, n_y^E, L)$ にいる歩行者に対して、 E の周囲のセル座標 $(I_x^E \pm 1, n_y^E \pm 1, L)$ とを結ぶ単位変位ベクトルを $\vec{\xi}(m_x, m_y)$ ($m_x = 0, \pm 1, m_y = 0, \pm 1$, ただし $(m_x, m_y) \neq (0, 0)$)とし、目標点の方向を向く変位ベクトルをもとめる。以下、歩行座標点 E と目標点 P を結ぶベクトル $\vec{EP}$ と $\vec{\xi}(m_x, m_y)$ の内積 $\xi_p(m_x, m_y) \equiv \vec{EP} \cdot \vec{\xi}(m_x, m_y)$ の値を降順にソーティングしたものを $\xi_p^{(k)}(m_x^{(k)}, m_y^{(k)})$ ($0 \leq k \leq 7$)とすると、これらのうち上位5つのセル座標が、目標点 P に対する移動候補セルとなる。

以下では第1候補($k=0$)から順に空きのあるセルを探していき、第 $k+1$ 候補セル $(n_x^E \pm m_x^{(k)}, n_y^E \pm m_y^{(k)}, L)$ で初めて空きセルが見つかった場合は、第 $k+1$ 候補セル($0 < k < 4$)が選択セルとなる。また第1候補から第5候補のいずれのセルも歩行者で占有されている場合、その歩行者はその場に留まるものとする。

(5) 車両エージェントの移動規則

最適速度(OV)モデルによる車両の移動交差点以外では、車両は車線変更をしない限り、同一の車両通行帯を走行する。したがって、各車両速度の加減に関係してくるのは、その車の走る通行帯の直前の走行車の位置のみである。したがって、交差点以外での車両間相互作用を計算するには、各車両前方の走行車位置を毎ステップもとめる必要がある。ある時刻での、所属リンク L_i 、車線番号 $I_{i,x}$ の車両 i の車両エージェント位置登録配列 PC 上の位置座標を $(I_{i,x}, n_{i,y}, L_i)$ とすると、車両通行帯 $I_{i,x}$ 上の点

$(I_{i,x}, k, L_i) \quad (n_{i,y} + 1 \leq k < N_{cell\max}(L_i))$ 上 で、 $P_C(I_{i,x}, k, L_i) \geq 0$ となる最小の k の値を $k_{\min,i}$ として、 $(I_{i,x}, k_{\min,i}, L_i)$ が車両 i の前方車両 $i+1$ の最後尾位置となる。OV 模型では、これらの位置から、車両 i の加速度は

$$\ddot{y}_i = a \left[V(|y_{i+1} - y_i|) - \dot{y}_i \right] \quad (1)$$

で与えられる¹²⁾。ただし $V(|y_{i+1} - y_i|)$ は、車間距離 $|y_{i+1} - y_i|$ に依存した最適速度を与える関数(OV 関数)で、 a は運転手の感応度、 $y_i \equiv n_{i,y} \omega$ である。1 次オイラー法などでこれを時間積分し、時刻 Δt 後の車両 i の位置を更新する。

3. 過去・現在・将来の人的被害の予測

(1) 過去・現在・将来の人口変動と高齢化率の設定

避難シミュレーションの避難対象者の設定として、対象地域の江東デルタ地域を占める墨田区、江東区、江戸川区の人口変動と、高齢化率(全人口に占める 65 歳以上人口の割合)の設定については、東京都統計局による人口統計データ¹³⁾及び将来人口推計データ¹⁴⁾に基づき、表-1 のとおりとした。なお、現在人口は H22(2010)国勢調査時の人口とし、H22 年の前後 25 年をとり、それぞれ過去人口、将来人口とした。なお、東京都将来人口推計データ¹⁴⁾によれば、対象3区では将来時点(H47:2035)の人口変動比として現在比 0.03%の微増が推計されていたが、避難シミュレーション上は従来時点でも現在人口と同人口とした。

表-1 過去・現在・将来の人口変動と高齢化率の設定

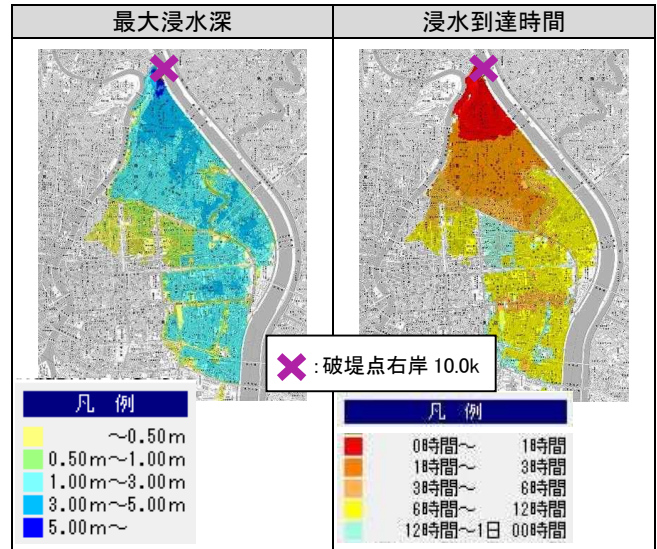
区分	過去(S60 :1985)	現在(H22 :2010)	将来(H47 :2035)
対象3区人口(計)※	1,133,725	1,387,392	1,430,652
人口変動比(H22 を 1とした場合)	0.82	1.00	1.00
高齢化率(%)	8.5	19.5	26.9

※江戸川区人口統計データは江東デルタ区域外も含む

(2) 対象地域の浸水想定の設定

対象地域の浸水想定としては、東京雨量観測所既往最大降雨となった S33 年 9 月狩野川台風洪水の確率規模を 1/300 に引き伸ばした水位ハイドロ(荒川の整備方針規模は 1/200)で、対象地域で浸水範囲が最大となる右岸 10.0K 地点で破堤した浸水を想定する。なお、このような雨量を避難時間帯に想定した場合には、豪雨時の傘を差しての避難となり、また避難最中の内水氾濫に伴う避難支障も想定される。ただし、こうした避難者の避難支障の要因となる、豪雨時の傘を差した場合の歩行速度の低下や内水氾濫による歩行速度の低下などについては設定に使用可能な統計データ等が存在しないことから、避難シミュレーション上では豪雨や内水氾濫の影響を見込んだ歩行速度の低下などの設定は行っていない。このような設定を行わない別な理由としては、豪雨や内水氾濫等の避難支障要因は、避難者の年齢や避難手段に関わりなく、全体として避難速度の低下に影響すると考えられ、高齢者の人的被害だけでなく全体の人的被害の拡大に影響する要因と考えられる。このため、高齢者の被害予測にのみ着目する本稿の観点ではむしろ全年代の被害を拡大させるノイズ的要素となりかねないことから、避難シミュレーション上でも考慮しないものとした。

表-2 浸水想定の設定



(3) 対象地域の避難シナリオの設定

対象地域では荒川下流タイムライン¹⁵⁾やその他の各種会議体の検討¹⁶⁾により、破堤氾濫発生前のかかなり早期の段階で鉄道・バス等を用いた大規模な広域避難が検討され、さらに破堤の 24~6 時間前には鉄道・バス等も運行停止が想定されている。これを踏まえ、対象地域の避難シナリオとしては、破堤発生 of 24~6 時間前までの間

に鉄道・バスにより人口の半数は事前に広域避難が完了している設定とし、破堤前 6～破堤後 3 時間までの間で残余の半数の人口が、広域避難とは別の通常の避難勧告・指示等により、鉄道・バス等の運行停止した中で徒歩と自家用車で避難する想定とした。なお、避難勧告・指示等の時期ごとの避難率について既往研究¹⁷⁾による江戸川区住民の避難タイミングの意向調査に基づき、表-3 の①～③の通り設定した。

表-3 避難タイミング毎の避難率の設定

避難タイミング	避難勧告等	避難率
【事前避難の想定】 破堤 24～6 時間前	(広域避難で半数人口は避難完了)	
①破堤 6 時間前～ (80 分間)	避難勧告	残余半数人口を 100 とした内の 37%
②破堤 3 時間前～ (80 分間)	避難指示	同上 39%(累計 76%)
③避難指示～破堤 3 時間後まで	緊急避難(自宅 浸水到達想定)	同上 24%(累計 100%)

(4) 避難シミュレーションの条件設定

避難シミュレーションの条件設定は表-4 の通りとした。特に高齢者の避難者の歩行速度を高齢者以外の避難者の歩行速度の半分とすることで、高齢者とそれ以外の避難者との差別化を図り、人的被害の拡大への影響を把握する設定としている。

表-4 避難シミュレーション条件設定

項	区分	内容
外力	洪水・雨量	・S33.9, W=1/300(狩野川台風[東京雨量既往最大]を 1/300 引延し, 整備計画規模 W=1/200)
	破堤箇所	・右岸 10K
	内水氾濫	・考慮せず
タイムライン	鉄道・バスによる広域避難	・全人口の半数が鉄道バスで破堤6時間前までに避難完了 (破堤6時間前に、鉄道・バスは運行停止⇒残余半数人口の避難者は徒歩・自動車避難の設定)
避難シミュレーション対象人口		・広域避難後の残余半数人口を対象とする(表-5参照) ・町丁目毎の人口分布に基づく
避難行動	避難意思決定 [水平避難]	・広域避難後の残余半数人口を 100 とし、①避難勧告時点、②避難指示時点、③避難指示～破堤後 3 時間の期間の時点(一様)で避難者を次の比率で設定 ①37%、②39%、③24%
	[垂直避難]	・設定しない
	避難行動開始時刻	・意思決定時点から 80 分後までの間で一様開始
	避難先	・隅田川を渡り西方向の区域外
	車両避難者・徒歩避難者	・全世帯の 30%は車両避難を選択 [自動車保有率に基づく]

項	区分	内容
徒歩避難条件	の割合	・残余の 70%世帯は徒歩避難避
	避難速度	・一般 1.11m/s, 高齢者 0.56m/s [歩行者の属性(年齢)] ・高齢者同居世帯では 1 名のみ高齢者に同行し 0.56m/s
	減速条件	・密度で減速 ・浸水深により線形で減速, 0.5m で停止 [避難困難]
	減速条件	・密度で減速 ・浸水深により線形で減速, 0.5m で停止 [避難困難]
自動車避難条件	道路条件	・市販地図等から高速道路以外の主要路線をモデル化
	周辺交通量	・考慮せず
	信号機	・道路区分ごとのサイクルを考慮し、方向で同期
	避難速度	・道路区分別規制速度
死者及び避難困難者の判定条件 【人的被害として整理】	減速条件	・車間距離が短くなると減速 ・浸水深により線形で減速, 30 cm で停止 [避難困難]
	安全避難者の判定条件 【人的被害なしと整理】	・建物内: 避難開始時自宅周辺浸水深 0.1m 以上で避難困難, 5m 以上で建物内死亡 ・車両内: 浸水深 0.3m 以上で避難困難, 1.5m 以上で車両内死亡 ・歩行中: 避難経路メッシュでの単位幅比力【 $= (v^2 h^2 / g) + (h^2 / 2)$ 】 0.16(m ³ /m) 以上で死亡, 浸水深 0.5m 以上で避難困難
安全避難者の判定条件 【人的被害なしと整理】		・上記「死者及び避難困難者」の反転条件に抵触せず、江東デルタ西側区域外へ到達した場合

表-5 避難シミュレーション対象人口の設定

区分	過去(S60 :1985)	現在(H22 :2010)	将来(H47 :2035)
避難シミュレーション対象人口(人)※	286,556	349,461	349,461
うち非高齢者(人)	262,194	281,065	255,306
うち高齢者(人)	24,362	68,396	94,155
高齢化率(%)	8.5	19.5	26.9

※鉄道・バスによる広域避難完了後の残余半数人口として

(5) 過去・現在・将来の人的被害の予測結果

過去・現在・将来の各時代の人口と高齢化率に基づく人的被害の予測結果を表-6 に示す。人的被害(死者及び避難困難者)の年代比と比較すると、やはり高齢化率に高くなるにつれ、高齢者の人的被害率は高くなっている。また、高齢者の人的被害率は、過去・現在・将来の各時代の高齢化率以上になっていることから、高齢化の進展により高齢者の人的被害の拡大が把握された。人的被害の内訳でみると、歩行者の高齢者の人的被害率が将来で 38%と顕著に高くなっており、これは避難歩行速度の遅い高齢者が避難途中に多数浸水に巻き込まれていることによるものである。一方、高齢化の進展があっても、非高齢者も含む全体の人的被害率については、顕

著に拡大する結果とならなかった(人的被害の合計では、過去～現在・将来にわたり3～4千人程度増加しているが、全体比では過去の人的被害率3%に対し、現在・将来ともに4%で1%増に過ぎない)。

表-6 過去・現在・将来の人的被害の予測結果

種別		年代別	過去(高齢化率8.5%)			現在(高齢化率19.5%)			将来(高齢化率26.9%)			
			人	全体比%	年代比%	人	全体比%	年代比%	人	全体比%	年代比%	
安全避難者		全体	275,991	96	100	334,055	96	100	333,047	95	100	
		非高齢者	253,008	88	92	269,934	77	81	244,977	70	74	
		高齢者	22,983	8	8	64,121	18	19	88,070	25	26	
人的被害 (死者 及び 避難困難者)	歩行者	全体	4,359	2	100	6,664	2	100	7,391	2	100	
		非高齢者	3,745	1	86	4,691	1	70	4,573	1	62	
		高齢者	614	0	14	1,973	1	30	2,818	1	38	
	車両内	全体	2,247	1	100	2,756	1	100	2,645	1	100	
		非高齢者	2,083	1	93	2,284	1	83	1,958	1	74	
		高齢者	164	0	7	472	0	17	687	0	26	
	建物内	全体	3,011	1	100	3,662	1	100	3,739	1	100	
		非高齢者	2,745	1	91	2,967	1	81	2,688	1	72	
		高齢者	266	0	9	695	0	19	1,051	0	28	
	人的被害(死者及び 避難困難者)(計)		全体	9,617	3	100	13,082	4	100	13,775	4	100
			非高齢者	8,573	3	89	9,942	3	76	9,219	3	67
			高齢者	1,044	0	11	3,140	1	24	4,556	1	33
計算終了時点避難未完了			948	0	-	2,324	1	-	2,639	1	-	
合計			286,556	100	-	349,461	100	-	349,461	100	-	

4. 高齢者避難支援策の効果の把握

前項の避難シミュレーションは、高齢化は進むが、高齢者の避難支援対策は全く行われないうまの条件での人的被害の予測を行ったものであった。以下では、一定の避難支援策として、自動車を保有する近隣住民が高齢者等の乗合せを行って、高齢者と一緒になって迅速に避難するシナリオを盛込んだ避難シミュレーションを行い、その支援策の効果の把握を行うものとする。

(1) 高齢者等の共助による避難支援

東日本大震災の教訓を踏まえ、災害対策基本法の改正が行われ、内閣府では「避難行動要支援者の避難助成支援に関する取組指針(H25.8)」が示された。この取組指針に基づき、現在、各地で家族親類はもちろん近隣住民も含めた共助による高齢者等の避難行動要支援者の避難支援体制づくりが行われている。具体的には、高齢者等の避難行動要支援者名簿が明確化され、高齢者一人ひとりに避難支援者が高齢者本人・家族・近隣住民の話し合いによって割当てられ、災害時には避難支援者が高齢者等を一緒に避難させる等の避難支援プランが策定されることになる。

(2) 高齢者等の避難支援シナリオの設定

自動車保有世帯の住民が近隣の高齢者を乗合せによ

って避難支援を行うという避難支援シナリオとして、以下の条件を避難シミュレーションに追加した。

表-7 避難支援シナリオの設定

項	区分	内容
避難支援	車両・徒歩避難者の割合	・全世帯の30%は車両避難 ・上記、車両避難世帯は、自宅から半径200m以内に高齢者がいる場合は同じ車両に乗合せを行う
	乗合せ人数	・車両世帯人数が3人以下世帯は2名、同4人世帯は1名の高齢者を乗合せ
	乗合車両の出発への影響	・以下の2ケースを設定 ①乗合せにより30分避難開始遅れ ②事前に避難支援体制が十分に構築されており、乗合せによる避難遅れ「なし」

(3) 高齢者等の避難支援策の効果の整理

表-6に示した高齢者の避難支援シナリオが無い(乗合せなし)の場合の人的被害と、高齢者等の避難支援シナリオを追加した場合の2ケース(①乗合せによる避難開始遅れ30分、②乗合せによる避難開始遅れ「なし」)での人的被害を、表-8に併せて比較して示す。

表-8によれば、「乗合せなし」で発生する高齢者の歩行者の人的被害が、「乗合せ有(避難開始遅れ30分)」では、ほぼ解消するが、その反面、乗合せによる避難開始遅れの影響で避難途中の車両内での人的被害が増加している。また、避難開始遅れの影響は、高齢者を迎えに行った先の建物内で避難支援者も高齢者も浸水被害に見舞われ、建物内人的被害を拡大させることにもなった。

表-8 高齢者等の避難支援策の効果の整理

種別		年代別	過去(高齢化率8.5%)			現在(高齢化率19.5%)			将来(高齢化率26.9%)			
			乗合せなし	乗合せ有 (30分遅れ)	乗合せ有 (遅れなし)	乗合せなし	乗合せ有 (30分遅れ)	乗合せ有 (遅れなし)	乗合せなし	乗合せ有 (30分遅れ)	乗合せ有 (遅れなし)	
安全避難者 (人)		全体	275,991	276,481	276,750	334,055	336,864	337,685	333,047	337,056	338,057	
		非高齢者	253,008	252,924	253,071	269,934	270,754	271,190	244,977	246,151	246,560	
		高齢者	22,983	23,557	23,679	64,121	66,110	66,495	88,070	90,905	91,497	
人的被害 (死者及び 避難困難者)	歩行者 (人)	全体	4,359	3,568	3,547	6,664	3,847	3,791	7,391	3,387	3,446	
		非高齢者	3,745	3,568	3,547	4,691	3,845	3,789	4,573	3,384	3,443	
		高齢者	614	0	0	1,973	2	2	2,818	3	3	
	車両内 (人)	全体	2,247	2,622	2,498	2,756	3,896	3,488	2,645	4,107	3,643	
		非高齢者	2,083	2,128	2,063	2,284	2,476	2,270	1,958	2,128	1,929	
		高齢者	164	494	435	472	1,420	1,218	687	1,979	1,714	
	建物内 (人)	全体	3,011	3,134	2,999	3,662	3,969	3,622	3,739	4,177	3,624	
		非高齢者	2,745	2,824	2,751	2,967	3,108	2,947	2,688	2,933	2,701	
		高齢者	266	310	248	695	861	675	1,051	1,244	923	
	人的被害(計) (人)		全体	9,617	9,324	9,044	13,082	11,712	10,901	13,775	11,671	10,713
			非高齢者	8,573	8,520	8,361	9,942	9,429	9,006	9,219	8,445	8,073
			高齢者	1,044	804	683	3,140	2,283	1,895	4,556	3,226	2,640
合計		286,556	286,556	286,556	349,461	349,461	349,461	349,461	349,461	349,461		

また、「乗合せ有(避難開始遅れ「なし」)」でも、高齢者の歩行者の人的被害が、乗合せによりほぼ解消する効果は同様である。また、車両内や建物内の人的被害については、「乗合せ有(避難開始遅れ 30 分)」と比較すれば若干の被害低減にはなっているものの、「避難遅れなし」とするだけでは効果は少ないことが把握された。

一方で、図-1 に示す高齢者の安全避難者の時間的変化をみると、「乗合せ有」の方が避難開始直後から「乗合せなし」と比べて高齢者の安全避難者の割合が早期に高い割合となり、破堤4時間後には既に 100%に到達するのに対し、「乗合せなし」では破堤10時間後に、ようやく100%に達する結果となっており、「乗合せ」の効果は顕著に認められ、さらに高齢化率が高い将来においても同様の効果が得られていることが図-2 から把握された。

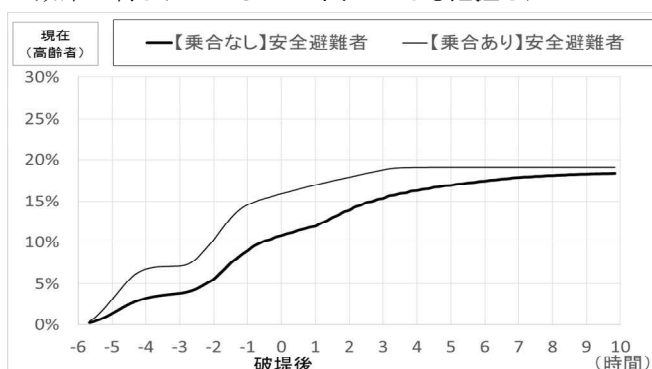


図-1 現在における高齢者の安全避難者の時間的変化

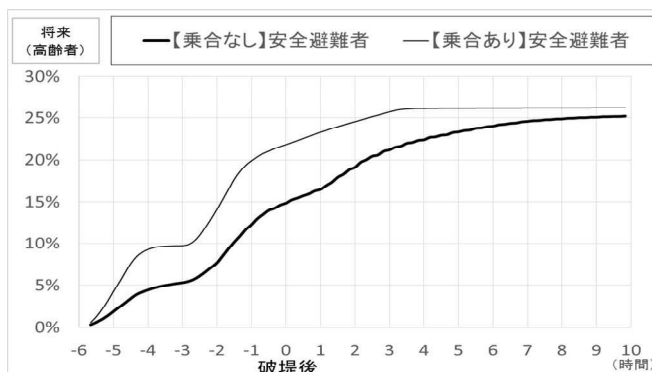


図-2 将来における高齢者の安全避難者の時間的変化

(4) 高齢者等の避難支援策の有効性と課題の整理

高齢者の乗合せによる避難支援策については、高齢化が進展する上で徒歩避難の高齢者の人的被害の低減には効果はあるが、車両内や建物内の人的被害が増える傾向があるため、より早期の避難開始を考慮に入れた避難支援対策が有効である可能性が把握された。

5. まとめ

本稿では、大都市域での徒歩・車両による避難を対象としたため、将来といっても高齢化率が 27%程度、自動車

避難率が全体の 3 割程度と少なく、地方部でのより高い高齢化率、より高い自動車避難率となる地域に対しては、本稿の結果を簡単に適用できない可能性がある。また、本稿では考慮しなかった避難の時期と降雨が重なる場合や内水氾濫の影響、さらに周辺からの流入車両の存在を考慮すると、さらに避難途中で浸水に見舞われ人的被害は拡大することが容易に想像される。従来、これらを回避するために早期の避難開始の必要性が指摘されてきたが、本稿では高齢化社会が進展した場合、避難支援策の実施により一定の効果は見込まれるが、その効果を確実なものにするためにも、より早期の避難開始が必要になることが改めて示唆された。

参考文献

- 1) 牛山素行:2004～2014 年の豪雨災害による人的被害の原因分析,東北地域災害科学研究,No.51,2015.
- 2) 福島雅夫, 新版数理計画入門, 朝倉書店, 2011.
- 3) 山本一浩, 上野幹夫, 小林一郎, 橋本淳也, マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータに関する研究, 構造計画研究所論文.
- 4) 松見吉晴, 鳥取県における危機管理能力の現状評価と向上に関する研究, 平成22年度 とっとり「知の財産」活用推進事業調査研究報告書 2011.
- 5) 片田敏孝, 桑沢敬行, 信田智, 小島優, 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1(水工学) No.69, 2013 .
- 6) 後藤仁志, 原田英治, 高橋秀文, 山口一哉, 丸山由太, 高橋和秀, 森貴之: 防潮堤改修に伴う津波来襲時の砂浜からの群集避難プロセスの改善評価, 海岸工学論文集 Vol.55, 2008 .
- 7) 花島健吾, 和田洋介, 堀智晴, 野原大督, 自動車による避難行動と道路上の信号制御を考慮した水害避難行動モデル. 京都大学防災研究所年報. B = Disaster Prevention Research Institute Annuals. B.
- 8) 花島健吾: 浅井良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一, 歩行者と自動車行動を考慮した水害避難シミュレーションモデル, 京都大学 Thesis or Dissertation (2013) .
- 9) B. Anvari, W. Daamen, V. L. Knoop, S. P. Hoogen-doorn and M. G. H. Bell, Shared Space Modeling Based on Social Forces and Distance Potential Field, Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012 (2014) pp907-916.
- 10) S. Wolfram, Rev. Mod. Phys. , Vol. 55 (1983) pp 601-644.
- 11) 大鐫史男, 小野木基裕: セルオートマトン法による避難行動シミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌 51 (2008) 94.
- 12) 杉山雄規, 交通流の物理, ながれ Vol.22, 2003 .
- 13) 東京都統計局, 東京都統計年鑑(平成 24 年版一部修正版), H26.4.
- 14) 東京都統計局ホームページ, 東京都区市町村別人口の予測 -統計データ-平成 24 年 3 月, 2012.
- 15) 荒川下流タイムライン検討会, 荒川下流タイムライン(試行版), 2015.
- 16) 江東 5 区大規模水害対策協議会, 江東 5 区大規模水害避難等対応方針, 2016.
- 17) 片田敏孝・桑沢敬行・信田智・小島優, 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 Vol.69, No.1(2013), pp71-82.