

近隣の中高層建物の分布を考慮した 大規模氾濫時の人的被害マクロ試算手法の開発

DEVELOPMENT OF HUMAN DAMAGE MACRO EVALUATION METHOD
FOR CATASTROPHIC FLOOD DISASTERS
CONSIDERING DISTRIBUTION OF MID-TO-HIGH-RISE BUILDINGS IN NEIGHBORHOOD

加藤拓磨¹・板垣修²・服部敦³・深見和彦²・鳥居謙一³・藤田光一⁴

Takuma KATO, Osamu ITAGAKI, Atsushi HATTORI, Kazuhiko FUKAMI,
Ken-ichi TORII, and Koichi FUJITA

¹正会員 博(工) 元 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部
(現 一般財団法人国土技術研究センター 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1ニッセイ虎ノ門ビル7階)

²正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

³正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁴正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

The authors proposed an evaluation method for lifesaving countermeasures against extreme condition in catastrophic flood disasters in metropolitan areas considering the distribution of mid-to-high-rise buildings in neighborhood. We assumed that not small number of residents would start evacuation when flood inundation was indeed imminent. We use GIS to calculate the potential death toll etc. during a catastrophic flood disaster considering the location, the number of stories, and the floor space of each building etc. We applied the method to a river, and found that it was important to consider the distribution of mid-to-high-rise buildings in neighborhood when developing and examining specific lifesaving countermeasures against extreme condition in catastrophic flood disasters.

Key Words : catastrophic flood disaster, evacuation in extreme condition, human damage,
distribution of buildings, metropolitan areas

1. はじめに

我が国は台風・豪雨等の厳しい自然外力にさらされる一方、氾濫原に人口・資産が集中し、気候変動下の豪雨増加による氾濫被害の増大が懸念されており、服部ら¹⁾は気候変動により洪水氾濫発生頻度等が増大するとしている。国土交通省社会資本整備審議会²⁾では河道改修や洪水調節施設の整備等を基本とする「河川で安全を確保する治水政策」で対処することに加え、増加する外力に対し「流域における対策で安全を確保する治水政策」を重層的に行うべきであるとしている。

上記「流域における対策」としては遊水地等施設の整備、土地利用の規制・誘導、住まい方の工夫、情報伝達・水防・避難・救助などソフト施策の推進等が挙げられている。上記審議会でも強調されている「犠牲者ゼロ」に向けた施策の重要な構成要素である「避難」については、避難に至る心理面について片田ら³⁾が、また、避難場所の配置・収容力・避難シミュレーションについて牧

之段ら⁴⁾が、高齢者等災害時要援護者について小林⁵⁾など多くの研究が行われている。

今後とも避難等による被害低減対策の研究・推進が重要であることは言うまでもないが、実際の洪水時の避難率は40%程度である⁶⁾こと、氾濫直前や自宅浸水等の危険な状況が発生しなければ避難を決意しない人が少なくないこと⁷⁾を踏まえると、浸水が生じつつある切迫した状況下において人的被害を極力低減する方策の検討が重要であると考えられる。

このため本研究では河川沿いの低平地の密集市街地等において最大浸水深5m程度の大規模氾濫が発生した場合を想定し、切迫した状況下における救命対策の推進に資する技術的検討を行ったものであり、実際の中高層建物の分布を反映した潜在的な人的被害の評価手法を提案しモデル河川の氾濫域に適用し、具体的な人的被害低減対策について検討し、同対策による効果の評価を行ったものである。

表-1 人的被害試算に係る用語の定義

項目	定義
集計単位内人口	集計単位内居住者の総人口
事前避難者	避難勧告時点等に居住建物から集計単位外へ安全に避難する者
在宅者	3階以上の居住者のうち事前避難せず自宅にとどまった者
垂直避難者	3階以上の建物の2階以下居住者のうち事前避難せず、建物内の3階以上へ避難する者
切迫避難者	自宅周辺の浸水が始まってから避難し始め、近隣の中高層建物等に逃げ込めた者。切迫避難で逃げ込む高所(切迫避難先)の分類は下記のとおり。 ①公的避難場所 ②デパート等の商業施設 ③民間ビル(マンション、オフィスビル等) ④堤防(避難先は階段・スロープの入口と指定する)
要緊急救助者	2階以下の建物の居住者で事前避難しなかった者のうち切迫避難先へ逃げ込めなかった者
切迫避難必要者	切迫避難者+要緊急救助者
死者	要緊急救助者のうち表-3に基づき死亡と判定された者
3日間以上孤立者	周辺の浸水深が3日間以上60cmを超えている者
非3日間以上孤立者	3日後までに周辺の浸水深が60cm以下となる者

※集計単位内人口=事前避難者数+在宅者数+垂直避難者数+切迫避難者数+要緊急救助者数

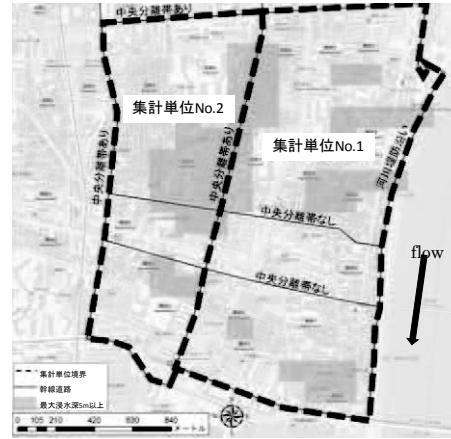


図-1 集計単位設定の一例(集計単位No.1・2)

2. 近隣の中高層建物の分布を反映した人的被害評価手法の考え方

河川沿いの低平地の密集市街地等における大規模氾濫時の人的被害低減対策としては、避難勧告時点等に避難場所へ避難(事前避難)するほかに浸水深に応じ自宅建物の非浸水階へ避難(垂直避難)することが考えられる。しかし洪水規模・地形特性等により最大浸水深がおおむね5m以上になる場合には1, 2階建て建物の居住者にとって自宅内の垂直避難による安全確保は困難であり、近隣の高所に緊急的に逃げこまなくてはならない(表-1)。なお、上記のとおり緊急的に逃げこんだ場合、その後浸水が長期間継続した場合には孤立等により安全を確保できないことがあり、事前避難が重要であることは言うまでもない。

そこで本研究では、何らかの理由により事前避難できずに自宅にとどまっている居住者が自宅周辺の浸水開始等の切迫した状況下で避難を開始することを「切迫避難」と定義し、実際の市街地の建物の分布を反映した潜在的な人的被害評価手法を提案する。同手法では市販の住宅地図等を活用し実際の建物の位置・階数・面積を詳細にGIS上に整理し、居住者の分布・属性(年齢階層等)、切迫避難者の移動速度、切迫避難先の収容可能人数等については簡略化した設定を行っている。これは、実際の代表的な街並み、建物分布における各種被害低減対策の効果を概略把握することを主目的としたためである。

3. 人的被害の試算手順

(1) 集計単位の設定

氾濫シミュレーション結果等に基づき大規模氾濫時に最大浸水深が5m以上になる恐れがある区域を抽出し、当該区域を広幅員幹線道路等により地区に分割した(分割された一つ一つを「集計単位」と呼ぶ)。これは、都市部では一般に幹線道路沿いに中高層建物が集中してい

表-2 集計単位の概要

集計単位 No.	集計単位 面積[km ²]	集計単位内 人口[人]	人口密度 [人/km ²]	主な用途地域等
1	2.06	43,759	21,242	第一種住居・準工業
2	1.23	30,270	24,610	第一種住居・準工業
3	0.71	18,391	25,902	商業・準工業
4	0.84	11,446	13,626	第一種住居・準工業
5	0.53	9,397	17,730	第一種住居・準工業
6	0.50	9,182	18,363	近隣商業・準工業
7	1.30	22,405	17,234	近隣商業・準工業
8	0.79	14,016	17,742	近隣商業・準工業
9	0.73	12,642	17,317	近隣商業・準工業
10	0.88	11,862	13,480	第一種中高層住居・準工業
11	0.61	4,732	7,758	第一種中高層住居・準工業
12	6.83	14,171	2,075	第二種中高層住居専用・市街化調整区域
13	0.55	6,851	12,456	準工業・工業
14	0.92	9,232	10,034	準工業・工業
15	1.46	1,021	700	第一種中高層住居・市街化調整区域
16	1.34	928	692	第一種中高層住居・市街化調整区域
17	11.23	6,424	572	市街化調整区域

表-3 屋内想定死亡率⁸⁾

	65歳以上		65歳未満		死亡率
	1階建	2階建	1階建	2階建	
危険水位帯	2.3m以上	5.0m以上	5.0m以上	7.7m以上	91.75%
準危険水位帯	1.7m～2.3m	4.4m～5.0m	4.4m～5.0m	7.1m～7.7m	12.00%
安全水位帯	1.7m未満	4.4m未満	4.4m未満	7.1m未満	0.02%

るとともに広幅員幹線道路等を横断しての切迫避難は相対的に少ないと想定されることから、広幅員幹線道路等を境界として分割された地区内で切迫避難はおおむね完結すると想定しうるのではないかと考えたためである。

図-1に集計単位の設定例を示す。本研究ではモデル河川の氾濫域で表-2に示す17の集計単位を設定した。

(2) 建物・居住者データのGIS上での整理

上記集計単位ごとにゼンリン社の建物ポイントデータ2012に基づき各建物の位置・階数・面積をGIS上に整理した。各建物に居住者を割り振る際には、町丁目ごとの年齢階層別国勢調査結果を用いた。さらに65歳以上の居住者の戸建て建物居住割合、並びに災害時要援護者及び歩行不可の居住者の人口比率を関連する統計値から設定し、建物ごとの属性別(年齢階層・災害時要援護・歩行不可)の居住者数を設定した。

なお、本研究における居住者分布は通勤・通学等を考慮していない夜間の分布である。

表-4 集計単位・ケース別切迫避難先の概要

集計 単位 No.	堤防 入口数	切迫避難必要者 1人当たり切迫避難先 収容可能面積[m ² /人]		居住建物から切迫避 難先までの平均距離 [m]	
		ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
1	13	0.81	8.93	132	6
2	0	1.13	7.52	102	7
3	0	1.52	9.54	119	6
4	9	4.22	9.35	119	9
5	1	2.06	8.27	197	7
6	6	0.09	3.48	101	9
7	12	0.52	4.07	133	9
8	5	7.87	15.67	100	9
9	5	1.27	4.74	113	11
10	0	4.68	7.87	344	12
11	3	11.67	30.74	153	10
12	15	3.62	4.93	336	82
13	6	1.83	10.30	189	8
14	2	1.29	16.46	139	7
15	6	3.46	6.90	335	335
16	9	3.94	5.25	207	68
17	9	0.35	0.37	1131	581

※切迫避難者1人当たり切迫避難先収容可能面積には堤防・駅を含まない。居住建物から切迫避難先までの平均距離には堤防・駅を含む。

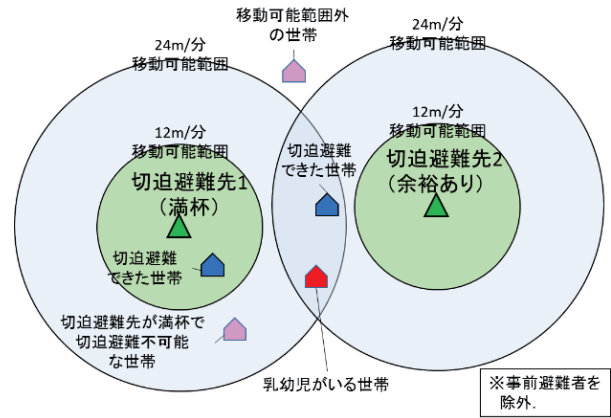


図-2 切迫避難に係る計算手順概念図

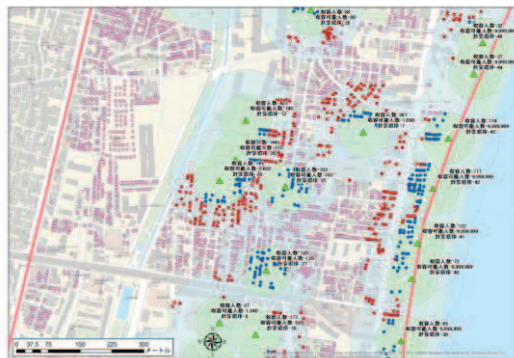


図-3 集計単位No. 1の試算結果（事前避難率0%・避難可能時間5分間、左図：ケース1 右図：ケース2）

(3) 試算条件

浸水深に応じた死亡率は表-3のとおりとした。

切迫避難は徒歩により行われるものと仮定し、移動速度は須賀⁹⁾の水中歩行に関する実験結果を参考に6～64歳の健康者で24m/分、65歳以上の高齢者及び乳幼児（およびその付き添い者）で12m/分とした。

市区町村指定の避難場所（公的避難場所）、デパート等の商業施設・鉄道駅、河川堤防、民間ビル（マンション・オフィスビル）を切迫避難先として抽出した。これらのうち民間ビルを除く場合をケース1、民間ビルを含む場合をケース2とする。ケースごとの切迫避難先の概要を表-4に示す。

切迫避難先ごとの切迫避難者収容能力は切迫避難者1人当たりの必要面積を1m²として算定した。民間ビル（ケース2）では廊下等共用スペースの面積比率を推定し、この比率を非浸水階（3階以上）の延べ床面積に乗じることで収容能力を設定した。面積比率は、賃貸面積／延床面積（レントラブル比）に関する国土交通省土地・水資源局土地市場課¹⁰⁾の調査結果などからオフィスビルで15%、マンションで10%と推定した。公的避難場所及びデパート等商業施設については非浸水階の全延べ床面積に基づき収容能力を設定した。駅及び河川堤防の収容可能人数に上限を設けなかった。

居住建物近くに切迫避難先が複数ある場合には公的避難場所に優先的に逃げこむものとした。

(4) 計算手順

事前避難者は集計単位外へ浸水前に安全に避難するものとし、事前避難率に応じて氾濫発生時点の居住者数を一律低減した。その後、3階建以上の建物の場合には、3階以上に居住する者は自宅待機し、1・2階の居住者はその建物の3階以上へ垂直避難するとした。また、2階建以下の建物の居住者は近隣の切迫避難先へ避難するとした。

図-2に切迫避難の試算手順の概念図を示す。切迫避難しようとする者は避難可能時間に歩行速度を乗じた距離を移動（街路等を見せず居住建物から切迫避難先まで直線移動すると仮定）する。切迫避難先を中心として半径を当該移動可能距離とした円内に居住していなければ、切迫避難先に到着できないものとする。円内に居住していても切迫避難先1のように既に切迫避難者で満杯である場合、まだ空きのある切迫避難先2へ避難する。最終的にどの切迫避難先にも避難できない場合には切迫避難が失敗したこととして要緊急救助者とする。要緊急救助者数から表-3に示す浸水深別死亡率により死者数を算定する。氾濫シミュレーション結果から切迫避難先（生存している要緊急救助者については居住建物）周辺の浸水

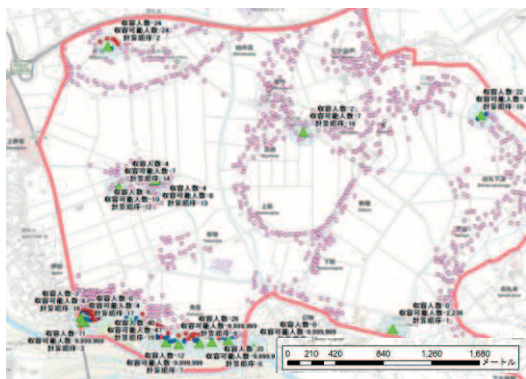


図-4 集計単位No.17の試算結果（凡例は図-3と同じ）
（事前避難率0%・避難可能時間5分間、ケース2）

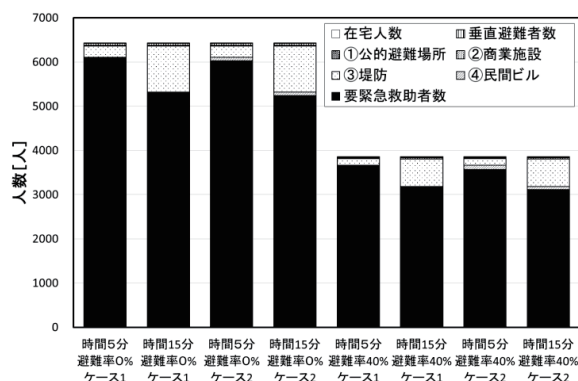


図-6 試算条件別切迫避難先別切迫避難者及び
要緊急救助者数（集計単位No.17）

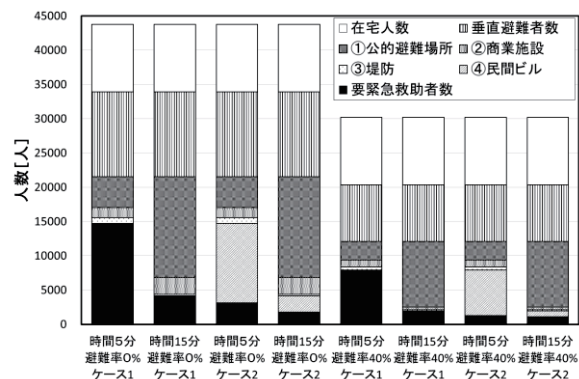


図-5 試算条件別切迫避難先別切迫避難者及び
要緊急救助者数（集計単位No.1）

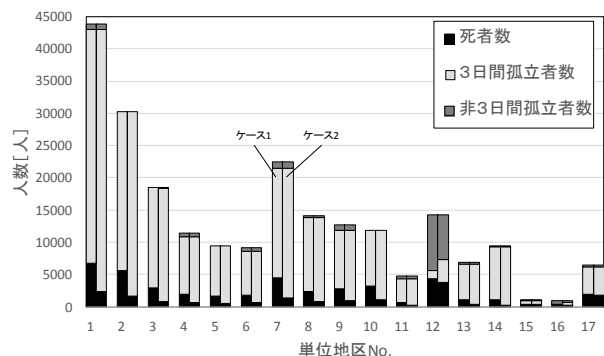


図-7 集計単位ごとの死者数・3日間孤立者数等

深が3日間60cm以下にならない場合には3日間孤立者とする。

事前避難率0又は40%，避難可能時間5分又は15分，切迫避難先の設定ケース（1又は2）を組合せた8つの試算条件で各人的被害を試算した。なお避難可能時間は、氾濫シミュレーションで集計単位内の代表地点における浸水深が10cm（自宅周辺の浸水開始を認識する水深）から60cm（水中歩行の限界水深）まで上昇するのに要する時間を参考に設定している。

4. 人的被害試算結果

今回の集計単位の中で相対的に人口密度が高く、3階建以上の建物数が多い集計単位No.1の切迫避難の試算結果を図-3に示す。事前避難率0%，避難可能時間5分の条件で左図はケース1，右図はケース2である。それぞれのプロットは切迫避難先（緑色の三角），全員切迫避難できた世帯（青色の丸），災害時要援護者等歩行速度が遅いために切迫避難できなかった者がいる世帯（赤色の丸），切迫避難先が満杯もしくは居住建物から遠い（6～64歳の健常者にとって）ため切迫避難できなかった者がいる世帯（桃色の丸）を示している。ケース1では切迫避難先がまばらで，わずかな世帯しか切迫避難できない

いが，ケース2では民間ビルが切迫避難先として利用できるため，多くの世帯が切迫避難可能となる。しかし5分間の避難可能時間で逃げ込める範囲内の切迫避難先が満杯となり，切迫避難できない居住者が依然存在している。

相対的に人口密度が低く、3階建以上の建物数が少ない集計単位No.17の試算結果を図-4に示す。3階建以上の建物がほとんど存在しないため，ケース2においても集計単位内のほとんどの居住者は切迫避難できない。

図-5, 6に集計単位No.1とNo.17の条件別切迫避難先・要緊急救助者数を示す。集計単位No.1は3階建て以上の建物が相対的に多いため，いずれのケースにおいても在宅人数・垂直避難者数が多くを占める。避難可能時間の拡大，民間ビルの切迫避難先としての活用によって大幅に切迫避難可能者が増加し，要緊急救助者が減少する。No.17は切迫避難先として活用できる民間ビルが少ないためケース1とケース2の差が小さい。集計単位No.1, 17ともに，事前避難率が40%とすると人的被害は低減する。

5. 近隣の建物の分布特性と人的被害の関係

以下集計単位内の建物の分布特性と人的被害との関係について分析するが，本研究の目的が「切迫した状況下における居住者の救命」であることから，以下の分析は

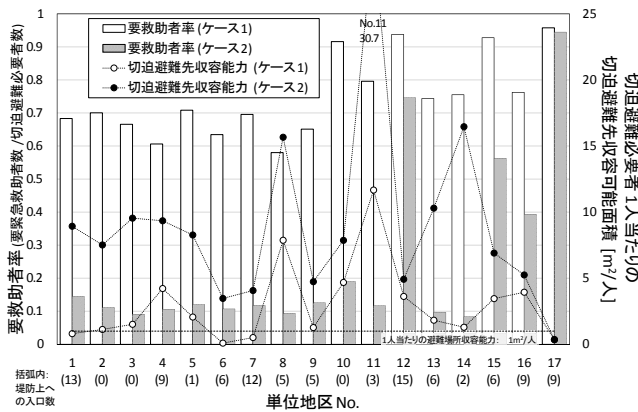


図-8 集計単位別要救助者率・切迫避難先収容能力

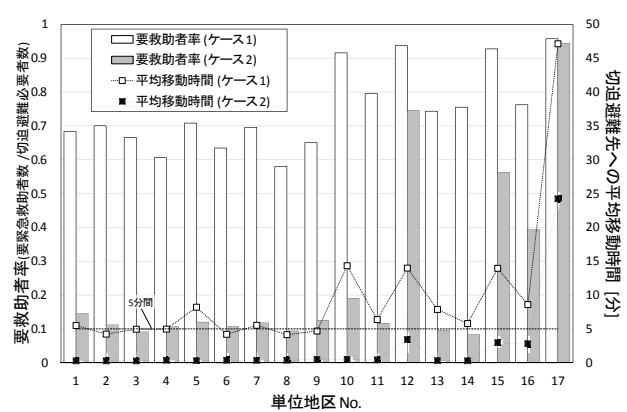


図-9 集計単位別要救助者率・切迫避難先への平均移動時間
(事前避難率0%, 避難可能時間5分)

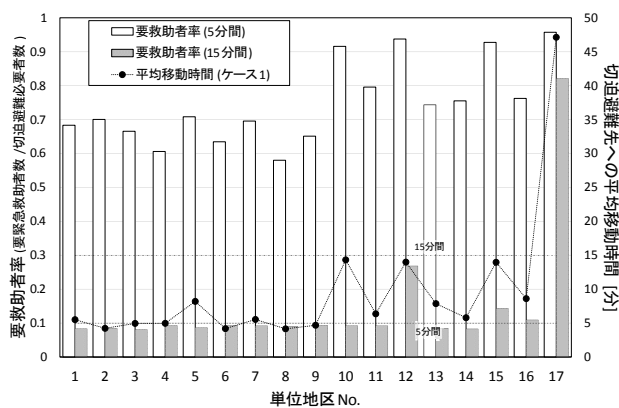


図-10 要救助者率と切迫避難先への平均移動時間の関係
(事前避難率0%, ケース1)

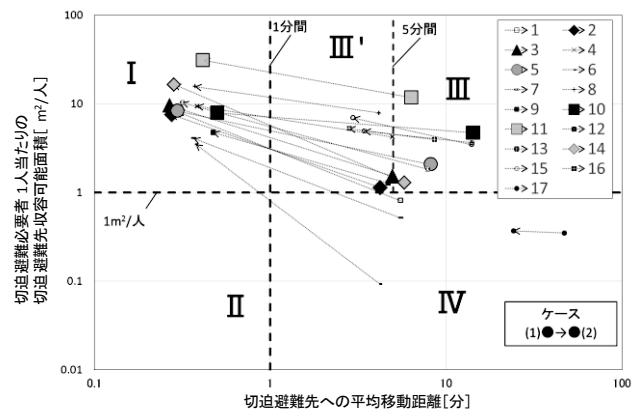


図-11 切迫避難先までの平均移動時間と切迫避難必要者
1人当たりの切迫避難先収容能力の関係

事前避難率0% (最悪のケース) について述べる。

図-7に集計単位ごとの3日間孤立者数等を示す。集計単位No.1が当該試算条件において最も潜在的被害が大きい。今回対象とした集計単位のほとんどで3日間以上浸水深が60cm以上となるため、非3日間孤立者はNo.12以外ほとんどない。

図-8に避難可能時間5分のときの集計単位ごとの要救助者率と切迫避難必要者1人当たりの切迫避難先収容能力 (堤防・駅を除く) の関係を示す。ここで要救助者率とは要緊救助者数を切迫避難必要者数で除した値であり切迫避難の失敗率といえる。多くの集計単位でケース1において平均的には切迫避難先の最低限の収容可能面積 (1人当たり1m²) が確保されている。ここでNo.6及びNo.7は上記最低限の面積を下回っているが、堤防等を含めた収容能力は小さい。ケース2では同収容能力が拡大し、すべての集計単位で要救助者率が低下するが、No.12・15・16・17では他の集計単位よりも要救助者率の低下割合が小さく、収容能力の多寡のみでは要救助者率を説明できない。

図-9に避難可能時間5分のときの集計単位ごとの要救助者率と居住建物から切迫避難先までの平均移動時間の関係を示す。ケース1で平均移動時間が5分程度であると

要救助者率は6~8割程度であり、15分程度以上であると9割程度となる。ケース2で平均移動時間が1分以下の集計単位では要救助者率が1割程度になり、同3分程度で4~7割程度となり、切迫避難先の増加が要救助者率の低減につながっている。

図-10に要救助者率と切迫避難先までの平均移動時間の関係 (ケース1, 移動可能時間5分及び15分) を示す。避難可能時間を5分間から15分間に延長することで要救助者率が大幅に低減している。しかしNo.17においては居住建物から切迫避難先まで遠く、避難可能時間の大幅な延長、もしくは事前避難以外の方策で要救助者率を低減することは困難である。切迫避難先への平均移動時間が避難可能時間の1/3程度であると、要救助者率率が1割程度となっている。

切迫避難先までの平均移動時間と切迫避難必要者1人当たりの切迫避難先収容能力が要救助者率の低下に大きく影響していることから、その関係を図-11に示した。矢印の根元はケース1、矢印の先端はケース2である。ケース2では切迫避難先の収容能力が大きくなり平均移動時間が短縮される。切迫避難必要者1人当たりの切迫避難先収容能力は切迫避難先が理想的な配置であったとしても最低1m²/人必要である。大幅に要救助者率が低減

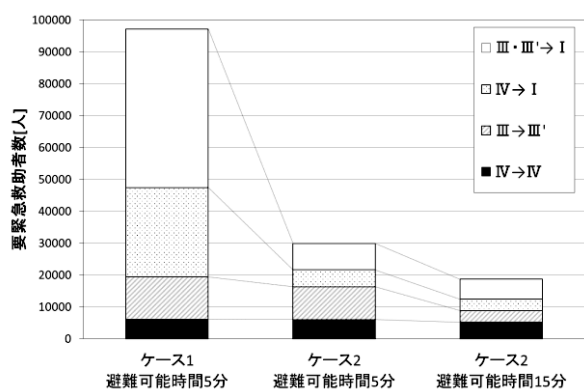


図-12 切迫避難先の地区特性・試算条件別要緊急救助者数
(すべての集計単位の合計)

する平均移動時間1分と避難可能時間5分を境界として、切迫避難先の地区特性をⅠ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅲ'・Ⅳにタイプ分けし、各集計単位の地区特性を整理した。多くの集計単位がタイプⅠ又はⅢとなる。タイプⅡは収容能力が小さい切迫避難先が数多くある状態で今回対象とした集計単位には存在しない。ケース1ではいずれの集計単位もタイプⅠではなく平均移動時間が1分以上のタイプⅢ、Ⅲ'又はⅣであるが、ケース2の場合平均移動時間が短縮することで多くの集計単位がタイプⅠとなる。図-12に切迫避難先の地区特性・試算条件別要緊急救助者数を示す。タイプⅢ・Ⅲ'・ⅣからⅠに変化する集計単位では要緊急救助者数が大幅に低減するが、Ⅰまで変化の至らない集計単位ではあまり低減していない。

6. おわりに

切迫した状況下での救命対策の検討に資するため、自宅周辺の浸水等を契機に避難しはじめる「切迫避難」を定義し、大規模氾濫時に5m以上の浸水深となる密集市街地等の建物の位置・階数・面積を反映した人的被害の評価手法を提案し、モデル河川の氾濫域に適用した。同手法により実際の建物の位置・階数・面積を反映した潜在的な人的被害を試算し、近隣の中高層建物等を切迫避難先として活用することによる人的被害低減効果の評価し、一定の仮定条件の下ではあるが相対的に潜在的な人的被害が大きい地区の特性を抽出することができた。

公的避難場所、デパート等の商業施設・鉄道駅、河川堤防のみを切迫避難先とした場合、事前避難率0%、避難可能時間5分では多くの居住者が切迫避難できないものと評価された。一方、民間ビル（マンション・オフィスビル）との協定等により切迫避難先を拡大した場合、切迫避難可能者が増加し要緊急救助者が減少した。今回の試算ケースでは、切迫避難先を増やし居住建物から切迫避難先までの平均移動時間を短縮するとともに避難可能時間を延長する対策を実施することにより同平均移動時間を避難可能時間の1/3程度とすることができれば要緊急救助者数を同対策実施前の1割程度に低減する

ことができるものとされた。なお、建物の位置・階数・面積の分布特性が密集市街地とは異なる郊外・農村部では3階建以上の建物等が少なく、既存民間ビル等を活用した切迫避難先の確保は困難であることから中高層建物の分布特性に応じた人的被害低減対策の検討が重要であることが明確となった。本評価手法は実際の中高層建物の分布等を反映した具体的な人的被害低減対策の有効な検討手法であると考ええる。

なお、切迫した状況下における救命率を向上させるには民間ビル等すべての選択肢を含めた切迫避難先の確保と避難可能時間の延長が重要であることが明らかとなったが、民間建物に関する施策検討の前段としての技術的検討を本研究は行ったものである。

参考文献

- 1) 服部敦・板垣修・土屋修一・加藤拓磨・藤田光一：気候変化の治水施策への影響に関する全国マクロ評価，河川技術論文集，第18巻，pp.481-486，2012。
- 2) 社会資本整備審議会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申），http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf，2008。
- 3) 片田敏孝・島晃一・金井昌信・小島彰吾：水害避難に関する行動指南情報の住民対応誘導効果に関する考察～平成23年7月新潟・福島豪雨時の三条市の対応から～，日本災害情報学会第14回研究発表大会予稿集，pp.342-345，2012。
- 4) 牧之段浩平・藤生慎・大原美保：首都圏大規模水害時の江東デルタ地帯に必要な避難場所の収容力に関する分析―域内避難・広域避難の双方を考慮して―，地域安全学会論文集，No.20，pp.1-10，2013。
- 5) 小林肇・林照悟・伊藤弘之・榎村康史・白井正孝・原口幸雄：水害時における災害時要援護者の避難に関する実態調査，国土技術政策総合研究所資料，第635号，pp.1-179，2011。
- 6) 池内幸司・越智繁雄・安田吾郎・岡村次郎・青野正志：大規模水害時の氾濫形態の分析と死者数の想定，土木学会論文集B1（水工学），Vol.67，No.3，pp.133-144，2011。
- 7) 桑沢敬行・片田敏孝：大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシミュレーション分析，日本災害情報学会第13回研究発表大会予稿集，pp.37-42，2011。
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25 試行版），2013。
- 9) 須賀堯三・上阪恒雄・吉田高樹・浜口憲一郎・陳志軒：水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する検討，水工学論文集，第39巻，pp.879-882，1995。
- 10) 国土交通省土地・水資源局土地市場課：環境価値を重視した不動産市場形成に向けた情報整備の検討について（概要版），pp.19，2011。

(2014.4.3受付)