

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

(株)IDA 社会技術研究所 桑沢敬行
群馬大学 広域首都圏防災研究センター 片田敏孝

1 はじめに

2010年4月、内閣府中央防災会議大規模水害対策に関する専門調査会は、首都圏における大規模水害を対象とした被害軽減に関する提言をとりまとめた¹⁾。同調査会の推計では、首都圏の被害が最大となる利根川氾濫シナリオを想定した場合、浸水域は約500km²に及び、230万人の浸水人口が発生するとされており、被害低減に向けて都市部の特性を踏まえた避難方針の検討が重要であるとしている。本研究では、この様な大都市における大規模水害時の避難対策を検討することを目的として、65万人超の人口を擁する東京都江戸川区を対象に、荒川の決壊を想定したシミュレーション分析を実施した。そして、住民の行動意向に基づく現状の被害発生特性の把握や被害低減に向けた対応策の検討、対応策の効果検証等を通じて、大都市における洪水避難の課題や適切な対応策について検討した。

2 シミュレーションモデル

2-1 基本モデル

本研究では、筆者らがこれまでに開発してきた災害総合シナリオ・シミュレータをシミュレーション分析の基本モデルに用いている²⁾。本モデルは、災害情報の伝達状況を表現する情報伝達モデルと住民の避難状況を表現する避難行動モデル、そして、ハザードの状況を表現する洪水氾濫モデルで構成されている。本研究では、避難行動モデルにおいて避難路の混雑度の影響を考慮するなど、避難速度の精緻化に向けた改良を行った。

2-2 避難速度の表現

避難行動モデルにおいて徒歩による避難速度は、年齢や性別に応じた平均歩行速度を基本として、歩道の混雑度、疲労、浸水の影響による速度低下をそれぞれの既往研究^{3),4),5)}を参考に考慮した(表-1参照)。また、自動車による避難の場合は、道路の各リンクに規模に応じた交通容量を設定し、Greenshieldsの式⁶⁾により交通量に応じた速度変化を表現した。

表-1 各種要因による歩行避難者の速度低減

要因	歩行速度の低減率の設定方法	
混雑度 ³⁾	低減率 = 0	(混雑度が1.5人/m ² 未満の場合)
	低減率 = $1 - 800 \times d / v_s$	(混雑度が1.5以上 6人/m ² 未満の場合)
	低減率 = 1 加えて、リンクへの新規進入は不可	(混雑度が6人/m ² 以上の場合)
	d: 混雑度 (人/m ²)、v _s : 基本歩行速度	
疲労 ⁴⁾	低減率 = $1 / (0.982 + e^{1.12t-4})$	t: 避難開始からの経過時間 (hour)
浸水 ⁵⁾	低減率 = w / w_{limit}	w: 避難路の浸水深、w _{limit} : 歩行限界浸水深 (本研究では1mに設定)

2-3 人的被害の評価

河川氾濫による水害の場合、浸水域内においても必ず被害を受けるとは限らないため、本モデルでは、住民の避難状態や住居特性と浸水状況から表-2に示す三種類の浸水人口を算出し、人的被害規模の評価指標として用いることとした。

表-2 浸水人口の分類と定義

浸水人口	定義
浸水域内滞在者	避難せずに自宅に留まっている人で、自身は浸水していないが自宅が浸水域内にある人
浸水域内危険者	未避難または避難途上で、緊急の救助が必要ではないものの自身が浸水している人
要緊急救助者	未避難または避難途上で、歩行が困難なほどの浸水状況下において緊急の救助が必要な人

3 シミュレーション分析

3-1 基本条件の設定

対象地域とした江戸川区の現状を表現することを基本に、住民や情報伝達施設、避難施設に関するデータを整備し、基本的な計算条件を設定した（表-3、図-1参照）。

表-3 基本条件

分類	項目	設定内容	出典、考え方
住民	人口、分布	651,733人 町丁目別に表現	区資料 住宅地図
	歩行速度	年齢・性別別	統計資料
	配置	256基	区資料
屋外 拡声器	音声範囲	280m	一般値
	聴取率	30%	一般値
	台数、経路	10台	区資料
広報車	速度	20km/h	一般値
	音声範囲	80m	一般値
	聴取率	30%	一般値
住民間 伝達	伝達方法	口頭のみ	輻輳で電話不可
	活発度	積極的に行われない	住民調査
道路	歩道幅員	2m、一部3.5m	区提供資料
	自動車 基本速度	高速30km/h その他20km/h	区資料
	待避所	106箇所、収容 可能人数	区資料
地域防災 拠点	3箇所		

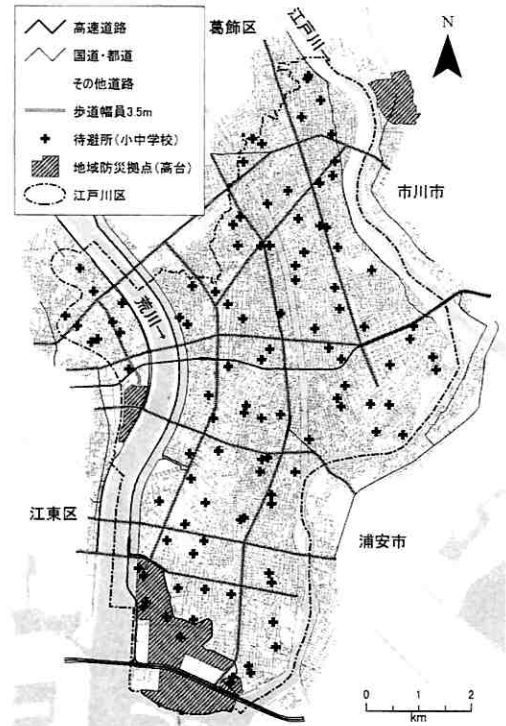


図-1 施設配置

(1) 避難行動の表現

地域住民の意識を踏まえて避難行動を表現するため、二十歳以上の江戸川区在住者を対象に洪水時の避難行動に関する意向調査（調査方法：インターネット調査、実施期間：2010年2月19日から23日、回答数：3,000票）を実施した。避難行動モデルでは、表現単位を世帯とし、各世帯と意向調査の回答票を居住地域を鍵としてランダムに対応付け、表-4に示す避難の決意タイミングや準備時間、避難手段、避難先のそれぞれを再現することを基本とした。また、同時に自力による避難が困難な世帯の規模についても表現した。

表-4 洪水時の避難行動意向に関する主な調査項目

調査項目	回答項目
避難の決意 タイミング	1.自宅にいて普段より降雨が多いと感じた / 2.大雨警報や洪水警報が発表された / 3.警報が長らく続き、雨も降り止まない / 4.避難勧告が発表された / 5.堤防が決壊しそうな状況を知った / 6.避難指示が発表された / 7.堤防が決壊したことを知った / 8.自宅の近くまで浸水してきた / 9.自宅が浸水し始めた / 10.いずれの状況でもそのような行動は取らない
避難準備時間	() 分
避難手段	1.徒歩 / 2.自動車 / 3.他家の自動車に同乗 / 4.バイク / 5.タクシー / 6.自転車 / 7.その他 ※ただし、シミュレーション上は徒歩(1,6)または車(2,3,4,5)で表現した。
避難場所	1.近くの小学校や中学校 / 2.区内の公共施設 / 3.区内の民間施設 / 4.区内の親戚や友人宅 / 5.区内や周辺にある高台 / 6.江戸川区以外の場所 / 7.その他
その他	自力避難困難世帯、居住地域

(2) ハザード想定と避難情報の伝達タイミング

ハザードとしては、荒川の計画洪水である昭和22年9月型洪水(1/200降雨)を想定洪水として、破堤した場合に比較的浸水人口が多くなる荒川左岸7.0km(図-2参照)を破堤箇所を設定した。破堤のタイミングは、破堤箇所の水位が計画高水位に達した時点とした。また、避難勧告と避難指示の発令は、江戸川区の計画を参考に、岩淵地点の水位がそれぞれ避難判断水位、氾濫危険水位に達した時点とした。この結果、今回のシナリオにおいて避難勧告、避難指示は、破堤からそれぞれ4時間44分前、2時間41分前に発令される事となった。

3-2 被害低減策に関する分析

被害低減策に関するシミュレーション分析は、まず、調査から把握した住民の行動意向をそのまま再現するシミュレーションを実施し、現状想定される被害やその発生要因を把握した。次に、把握された被害要因への対策を表現したシミュレーションを実施し、その効果検証や新たな課題の抽出を行った。そして、要緊救助者がゼロになるまで同様な検討を繰り返し実施した。表-5、表-6は、実施したシミュレーションのシナリオと結果の一覧である。以下では、各シミュレーションの想定条件や結果、把握された課題について説明する。

表-5 シミュレーションシナリオ

No.	シナリオの設定内容
1	現状再現：基本的に住民の行動意向調査をそのまま表現
2	避難促進：避難勧告までに全員が避難を決意、決意後30分以内に避難を開始
3	垂直避難：3F以上居住者は、避難勧告前は現状再現、避難勧告後の避難は禁止
4	避難誘導：一般世帯は、3箇所の地域防災拠点のいずれかへ避難する
5	時間的避難者分散：災害弱者世帯は、避難勧告前に事前避難を完了している
6	空間的避難者分散：地域防災拠点への避難路の一部に歩行者専用道路を設定
7	情報伝達、困難者対策：情報発表1時間後には全員が情報取得。支援により避難困難者の避難可

※各シナリオは、上段のシナリオを基本として、さらに追加する形で表現した。

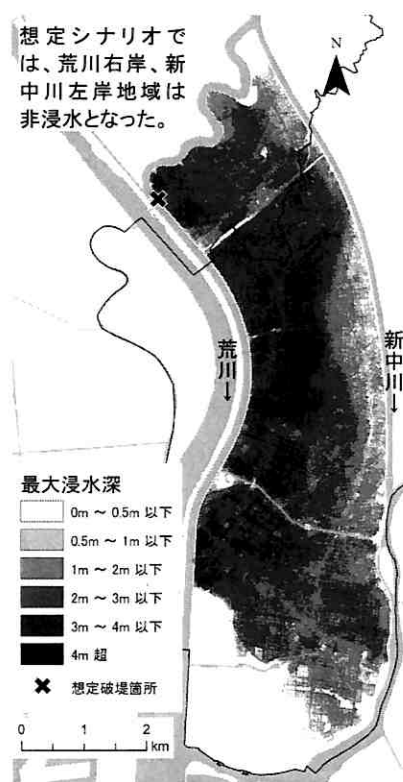


図-2 想定破堤箇所と最大浸水深

表-6 計算終了時の住民の構成

No.	避難開始前 (人)	避難途上 (人)	避難完了 (人)	要緊急救助 (人)	避難状況	
					避難前 (人)	避難中 (人)
1	165,835(25)	13,239(2)	435,501(67)	37,158(6)	36,417(98)	741(2)
2	15,772(2)	22,923(4)	561,602(86)	51,436(8)	90(0)	51,346(100)
3	129,883(20)	13,143(2)	475,963(73)	32,744(5)	100(0)	32,644(100)
4	130,468(20)	37,381(6)	475,166(73)	8,718(1)	98(1)	8,620(99)
5	95,118(15)	28,469(4)	523,476(80)	4,670(1)	78(2)	4,592(98)
6	95,052(15)	33,112(5)	522,658(80)	911(0)	79(9)	832(91)
7	63,708(10)	37,895(6)	550,130(84)	0(0)	-	-

※括弧内は全人口に対する割合(%)を示す。避難前と避難中は、要緊急救助者に対する割合(%)を示す。

(1) 住民の行動意向に基づく現状の被害想定 (No.1)

現状再現を基本とするシミュレーション (No.1) では、要緊急救助者が3.7万人を超える大規模な被害が発生した。その内訳をみると、98%が避難を開始する前に被害を受けていた。意向調査によると、92%の人は、洪水の発生により河川が決壊し自宅が浸水するまでのいずれか段階で避難を決意すると回答している。しかし、避難勧告の発表時点までの比較的早い段階に避難を決意する人は34%に留まっており、氾濫直前や自宅浸水等のより危険な状況が発生しなければ避難を決意しないとする人が大半を占めている。これらの結果から、避難を決意する時期の遅さが被害発生の主因であることが把握された。

(2) 大都市における避難の促進の影響 (No.2)

No.1の結果を踏まえ、迅速な避難を促すことによる被害低減効果を把握するため、全ての人々が少なくとも避難勧告を聞いた時点において避難を決意し、30分以内に避難を開始するシミュレーション (No.2) を実施した。しかし、この改善シミュレーションでは、避難勧告の発令時に膨大な避難者が発生することで、大規模な渋滞が発生したり、避難施設が短時間で収容超過となり、結果的に要緊急救助者が約1.4万人増加した。図-3は、全住民が全く避難しない場合と現状再現 (No.1)、そして本シナリオ (No.2) の浸水人口を併記したものである。この図によると、避難が活発化することでNo.1において発生していた4.5万人の浸水域内滞在者がNo.2ではゼロにまで減少しているものの、より深刻な被害を受ける要緊急救助者が増加している。この結果から、単純な避難行動の促進が、被害拡大につながる危険性を持つことが推察できる。なお、誰も自宅から動かず、全く避難しない場合、要緊急救助者は約6千人に留まっており、現状再現 (No.1) よりも低い被害となった。ただし、31万人もの浸水域滞在者が発生するという別の問題に直面する結果となった。

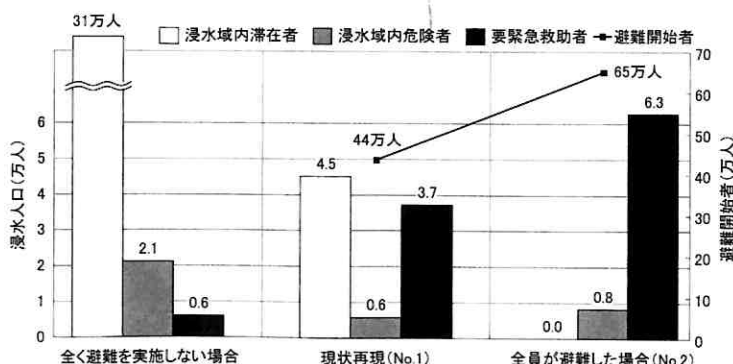


図-3 避難者の規模と浸水人口

(3) 垂直避難による被害低減効果 (No.3)

No.2では、単純な避難の促進が被害を増大させる結果を招いた。都市部の場合、高層部に居住する住民が多く、図-3でみたように仮に外水氾濫が発生したとしても、浸水域内滞在程度程度の被害に留まる人の割合が多い。ここでは、より深刻な被害を軽減するために浸水域内滞在者の発生を許容した場合の結果を把握する。具体的には、2F以下の居住者については、これまでと同様に避難勧告までに避難を決意させる。一方、3F以上居住者については、基本的に意向通りの行動を表現するが、危険な結果につながる恐れのある避難勧告よりも後の避難を禁止させた。この結果、要緊急救助者は3.3万人となり、No.1よりも4千人程度、No.2よりも1.8万人程度減少した。この結果から、都市部の洪水避難においては、垂直避難や自宅待避等も含めた多角的な避難形態の検討が必要であることが把握された。

(4) 避難先の適切化による被害低減効果 (No.4)

No.3の要緊急救助者をみると、ほぼ全てが避難中の被害であった。また、多くの待避所（避難施設）が満員であることから、施設の容量不足により避難できない住民が存在することが被害要因として把握された。意向調査によると、7割の住民は区内の公共施設への避難意向を持っている。しかし、区の避難施設の収容能力の合計は約27.4万人であり、意向通りの避難を実施することは非現実的であることが分かる。No.4では、避難施設に関する現状を踏まえた避難対策として、一般世帯（No.5の災害弱者世帯以外の世帯）を十分な収容規模を持つ三箇所の地域防災拠点へと誘導した場合のシミュレーションを実施した。このシミュレーションでの要緊急救助者は約8.7千人となり、No.3から約2.4万人もの被害が低減したことから、収容規模を踏まえた適切な避難誘導の効果が確認される結果となった。

(5) 渋滞対策による被害低減効果 (No.5、No.6)

No.4では、大幅に被害が低減したものの、少数の避難場所に多くの避難者を誘導することで、一部の道路に大規模な避難者渋滞を誘発している状況も確認された。渋滞は、一時に道路の容量を超える避難者が集中することで発生するため、時間的、空間的な避難者の分散が基本的な対策として考えられる。本研究では、まず時間的な分散化対策として、避難勧告時の集中を避けるために、事前避難の促進を想定したシナリオ（No.5）を設定した。このシナリオでは、未就学児や後期高齢者を持つ世帯を災害弱者世帯と定義し、災害弱者世帯が事前避難を実施して、避難勧告時には避難を完了している状況を想定した。また、空間的な避難者の分散化対策としては、地域防災拠点に通じる一部の道路に歩行者専用道路を設定し、道路幅員全てを歩行避難者に開放し

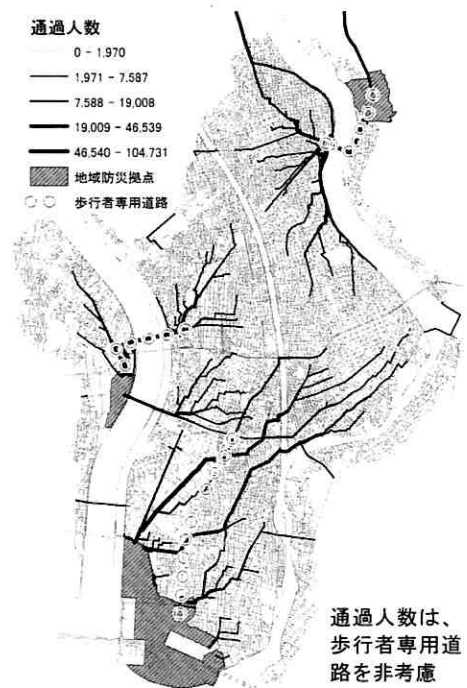


図-4 歩行者渋滞箇所と対策箇所

た状況を想定した(図-4参照)。No.4に加えて時間的な避難者の分散化を実施したNo.5では、要緊急救助者がほぼ半減し4.7千人となった。さらに、空間的な避難者の分散化対策を追加したNo.6では、約9百人にまで被害が減少し、避難者渋滞対策の効果が確認された。

(6) 避難困難者等の対策効果 (No.7)

No.6で発生した要緊急救助者の構成をみると、避難勧告を取得できていない、または遅れて取得した世帯や、避難困難な家族が存在し、自力では避難することができない世帯で構成されることが把握された。そこで、これらの住民を対象とした対策として、情報伝達の改善により、各情報の発表から一時間後には全住民が情報を把握している状況を設定した。加えて、避難困難者に対して何らかの支援策が実施された状況を想定し、これまで避難不能としていた避難困難世帯の避難を可としたシミュレーションを実施した (No.7)。この結果、要緊急救助者はゼロにまで低減した。

4 おわりに

本研究では、大都市における大規模水害を対象とした適切な避難対策を検討することを目的として、地形や避難施設、そして居住者の現状を詳細に表現したシミュレーションモデルを構築した。そして、低調な避難率の改善を目的とした無計画な避難行動の促進は、一時に膨大な避難者を生み出すことで渋滞や避難施設の容量超過等の問題を深刻化させ、逆に被害の拡大を招く恐れがあるという都市部特有の避難問題を顕在化させた。シミュレーション分析からは、このような都市部の洪水被害を回避する対策として、自宅待避者や垂直避難も含む多角的な避難形態を取り入れることが効果的であることが把握された。また、江戸川区の様な特に標高の低い都市部では、大規模な屋外避難施設となる高台等の活用が必要であることに加えて、円滑な避難行動を実現するための時間的、空間的な渋滞対策を合わせて実施していくことが重要であることが明らかとなった。なお、防災教育による意識啓発や災害弱者への支援は、都市部においても必須の被害低減策であり、地域特性に依存しない基本的な課題であることも確認された。

謝辞：本研究の実施に当たっては、国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所、江戸川区からの協力を得た。ここに記してこれらの方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 内閣府・中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」：大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没～被害軽減のためにとるべき対策とは～，2010.
- 2) 桑沢敬行，片田敏孝，及川康，児玉真：洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用，土木学会論文集 D，Vol.64，No.3，pp.354-366，2008.
- 3) 内閣府・中央防災会議：「首都直下地震避難対策等専門調査会」第10回，2008.
- 4) (財)河川情報センター：洪水氾濫解析と住民の避難計画 付 堤防の決壊対策，1993.
- 5) 末次忠司：氾濫原管理のための氾濫解析手法の精度向上と応用に関する研究，九州大学学位論文，1998.
- 6) Greenshields, B.: A study of traffic capacity, Proc. of Highway Research Board, Vol.14, pp.448-494, 1934.