

大規模河川を対象とした洪水避難対策の総合シミュレーション分析*

Simulation Analysis for Flood Evacuation Planning in a Large-Scale River Basin*

桑沢敬行**・本間基寛***・片田敏孝****

By Noriyuki KUWASAWA**・Motohiro HONMA***・Toshitaka KATADA****

1. はじめに

わが国においては、ダムの建設や河川整備などの治水事業の進展により、かつての洪水常襲地域においても水害の頻度は激減しており、これまで河川が氾濫することを前提に農地として利用されてきた土地の多くが、住宅地として転用されてきた。しかし、近年の地球温暖化に基づく気候変動の影響により、集中豪雨の頻発化や大規模化の傾向がみられることから、治水施設の安全度は、元々の基準よりも低く見積もらざるを得ない状況にあり、河川氾濫の頻度は再び高まる危険性がある。また一方で、堤防の嵩上げなどにより、堤防が決壊した場合の氾濫流量が増大していること、また、洪水氾濫が低頻度化したことによって、水害経験者の減少や災害文化の風化などがみられ、流域住民の水害への対応能力が低下していると考えられること、更には、河川沿岸における資産の集中や拡大なども加わり、河川が氾濫した場合の被害規模も著しく高まっている。このような現状を踏まえるならば、河川の沿岸地域において水害対策は喫緊の課題である。また、水害による人的被害の低減に関して言えば、ハード施設の整備に加えて、氾濫した場合の避難対策を検討するなど、河川の氾濫を前提とした対策を講じていくことの重要性がますます高まっている。

本研究では、このような問題意識から、効果的な洪水避難対策を検討することを目的に、洪水や氾濫といった洪水現象、地域住民に対する災害情報の伝達や避難行動といった洪水時の社会対応、そして、これらを考慮した洪水被害の発生状況など、水害時の地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを構築した。そして、その具体的な適用事例として、大規模河川の沿岸地域を対象として、河川水位を基準とした避難勧告の発令タイミングの検討や、高規格堤防上への避難施設の整備といった避難対策の効果について分析した。

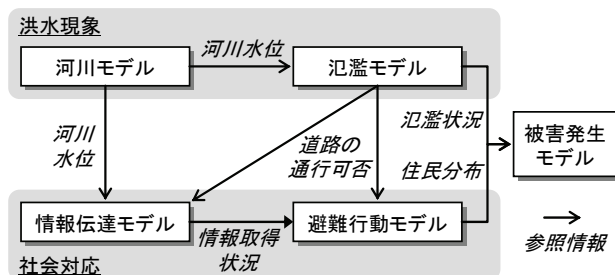


図-1 モデルの構成と情報の流れ

2. シミュレーションモデルの概要

(1) シミュレーションモデルの構成

本研究で構築した水害時における地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルの構成を図-1に示す。

まず、洪水現象に関しては、堤内地の氾濫状況を表現する氾濫モデルに加えて、河道内の洪水追跡を実施する河川モデルを組み合わせることによって、河川の水位変化までも表現する。河川モデルを組み込んだ理由は、1. 河川状況にまで及んだシナリオ想定を可能とするため、2. 河川水位を基準とした避難情報の伝達を検討するためである。2点目に関しては、避難判断水位など既に避難情報を明確に意識した水位基準が設定されているが、大規模河川の場合、上流の降雨や増水の傾向から水位変化が比較的予測しやすいことから、特に有効であると考えられる。

次に、水害時の社会対応については、住民に避難勧告などの災害情報が伝達される状況を表現する情報伝達モデルと、災害情報の取得をきっかけとして住民が避難場所に向けて避難する様子を表現する避難行動モデルで構成される。なお、両モデルでは河川モデルや氾濫モデルにより表現される洪水現象や被害の影響を考慮する。

最後に、洪水氾濫による被害の発生状況を表現するために、洪水氾濫と住民避難の状況から人的被害の発生状況を表現する被害発生モデルが組み込まれている。以上のように、本シミュレーションモデルは、水害時の地域状況を洪水現象や社会対応、そして被害の発生状況までの表現を対象とする総合的な構成となっており、想定洪水に対する情報伝達計画や避難計画などを人的被害規模という具体的な指標を用いて評価すること、そしてその対策を検討することが可能である。

*キーワード：防災計画，計画手法論，GIS

**正員、博(工)、(株)IDA 社会技術研究所

(群馬県高崎市片岡町3-1-6、kuwasawa@ce.gunma-u.ac.jp)

***学生員、修(理)、群馬大学大学院 工学研究科 博士後期課程

(群馬県桐生市天神町1-5-1、honma@ce.gunma-u.ac.jp)

****正員、工博、群馬大学大学院 社会環境デザイン工学専攻

(群馬県桐生市天神町1-5-1、t-katada@ce.gunma-u.ac.jp)

(2) シミュレーションモデルの概要

a) 河川モデル

本モデルは、河道内の洪水追跡を行う。川幅の広い大規模河川を対象とすること、また複数の河川が合流するなど複雑な河川の挙動を表現するために、平面二次元による不定流計算を行うモデルを構築した。一般に、計算格子形成の容易さから直交座標系が用いられるが、河川形状の直線近似による結果への影響が無視できない場合があるため、本モデルでは、一般座標系を採用している。

b) 氾濫モデル

破堤箇所の河道水位と堤内地水位から、越流公式により氾濫流量を求める。また、堤内地に流入した氾濫流の挙動を直交座標系の二次元不定流計算によって表現する。なお、本モデルにより計算される氾濫状況は、住民避難の状況と比較されることから、10m程度の計算格子を利用するとともに、10秒間隔程度の結果を出力するなど、詳細な分析や出力が必要である。

c) 情報伝達モデル

避難勧告などの災害情報が住民に伝達される様子を表現する。情報の伝達媒体としては、防災行政無線の屋外拡声器や戸別受信機、広報車、そしてマスメディアによる伝達状況を表現する。また、住民間の口頭伝達などによって情報が拡まる様子を表現するため、個々の住民による情報伝達行動についても表現する。本モデルでは、既往研究において構築した偏ネットモデルを基本とする災害情報伝達シミュレーションモデル¹⁾を利用している。

d) 避難行動モデル

避難行動は、道路を表現するリンクと交差点を表現するノードで構成されるネットワークを利用して計算する。避難者は、避難開始時に現在位置から各避難場所までの最短経路を探索し、最も近い避難場所に向けて最短経路を移動する。その後、避難開始からの経過時間と避難速度に応じて各時刻における避難位置を算出する。

なお、避難施設には、収容可能人数が設定できる。避難者は、避難先の収容人数が超過していた場合、その場から次に近い避難場所に避難する。また、避難者は定期的に周辺の氾濫状況を確認し、進入するリンクが冠水していた場合、ネットワークから該当リンクを除外して避難先や経路を再探索する。これによって避難者が浸水状況に応じて避難経路や場所を変更する様子が表現される。

e) 被害発生モデル

本研究では、人的被害規模を評価するための代理指標として、自力避難が困難となり何らかの救助を要する住民の数を示す要救助者数を定義した。自力避難の可否は、氾濫モデルの結果が更新されるタイミングにおいて抽出した氾濫域内に存在する住民を対象に、身長と流体力との関係から避難の困難度を判定する須賀ら²⁾の式を利用することによって判定している。



図-2 分析対象地域

3. 洪水避難対策の効果分析

(1) 対象地域の概要

本研究の対象地域としたのは、埼玉県北埼玉郡北川辺町である(図-2参照)。北川辺町は、利根川と渡良瀬川の合流地点に位置し、南西側が利根川、東側が渡良瀬川に面している。また、北側には治水と利水機能を持つ渡良瀬遊水地がある。河川に囲まれた北川辺町は、古来度重なる水害に見舞われおり、昭和22年のカスリーン台風では、渡良瀬川の堤防が決壊し、町一帯が長期間に渡り浸水する被害を受けている。町が公表している洪水ハザードマップによると、町の大部分の浸水深は、5m~8mと予想されており、河川が氾濫した場合、2階建家屋の居住者についても避難を強いられることになる。加えて、マンションや大規模な商業施設などの高層建物が少なく、3階建以上の建物は学校など少数の公共施設に限定されている。このような状況から、北川辺町では、水害時の避難場所として4箇所の小中高等学校(図-2のA, B, C, E)が指定されている。ただし、学校についても有効な避難スペースは3階以上に限定されており、全人口を収容する能力はない。したがって、町の避難計画では、学校に避難する対象は、独力で避難ができない家族を持つ災害弱者世帯のみに限定されており、一般世帯については、北部の藤畑地区、南西部の伊賀袋地区に整備されている2箇所の高規格堤防上(F, G)に避難する計画となっている。

(2) シミュレーションの基本条件

シミュレーションの基本条件を表-1に、施設などの配置を図-2に示す。住民分布や情報伝達施設の配置については、現状を再現するような条件を設定した。洪水シナリオとしては、河川モデルを対象にカスリーン台風時の流量を再現するような条件を設定した。また、破堤箇所の違いによる結果への影響を把握するため、町内で利根川または渡良瀬川の堤防が決壊する3パターンの他に、利根川上流に位置する板倉町内で破堤した場合を含む4パターンを設定した(図-2参照)。また、破堤タイミング

表-1 基本条件

分類	項目	設定値
住民	人口、世帯数	13,498人、4,252世帯
避難勧告	発令タイミング	はん濫危険水位到達2時間半前
屋外 拡声器	配置、伝達タイミング、音声範囲、聴取率	現状再現、勧告発令直後、250m、30%
広報車	出発タイミング、音声範囲、聴取率、速度	勧告発令直後、100m、40%、時速20km
マスメディア	タイミング、視聴率	勧告発令1時間後、60%
避難行動	避難率、手段、速度	100%、徒歩、分速66m
洪水 氾濫	想定洪水	カスリーン台風時の流量再現
	想定破堤箇所 (4パターン)	利根川：141kp、138kp、135kp 渡良瀬川：4kp

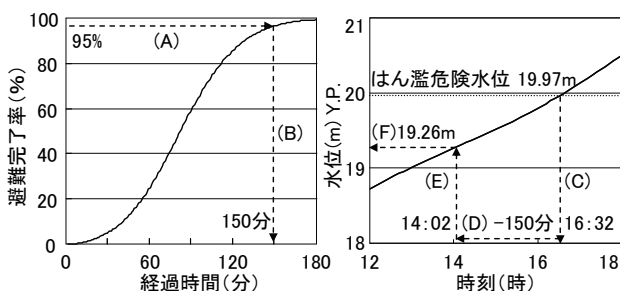


図-3 避難判断水位の設定

は、破堤する対象河川の基準観測所(利根川:栗橋水位流量観測所、渡良瀬川:古河水位流量観測所)の水位がはん濫危険水位に達した1時間後とした。この他、各避難場所については、避難場所として利用可能な床面積を予想浸水深を参考に求め、その面積を基準として収容可能人数を設定した。具体的には、堤防の決壊に伴い緊急避難を行う状況を想定し、洪水ハザードマップの作成マニュアル等に示されている方法による収容人数の2倍の容量を設定している(3.33㎡あたり4人として計算)。

(3) シミュレーション分析

a) 避難勧告の発令タイミングの検討

ここでは避難勧告の発令基準とする避難判断水位を設定する。まず、住民が避難勧告を取得してから避難を開始するまでの時間を過去の調査事例などを参考に平均1時間(標準偏差σ=30分)と設定した場合の避難完了率の推移を図-3左に示す。この結果によると、住民の95%は約2.5時間で避難を完了していることが分かる(図-3左A→B)。したがって、ここでは避難勧告の伝達開始から住民の避難完了までに必要な時間を2.5時間と判断し、はん濫危険水位(19.97m)到達時刻の2.5時間前の水位を hidrograph から読み取り、避難判断水位(19.26m)として設定することとした(図-3右C→D→E→F)。そして、このタイミングで避難勧告を発令することとした。

b) 高規格堤防上への避難誘導の効果

北川辺町民を対象とした意識調査によると、前述した町の避難計画が住民に十分に周知されていない問題が明らかとなった。また、多くの人が小中高等学校に避難す

表-2 避難場所の配置パターン

No.	避難場所の配置箇所
1	堤内地4箇所(A, B, C, E), 高規格堤防上2箇所(F, G)
2	高規格堤防上2箇所(F, G)
3	高規格堤防上3箇所(F, G, H)
4	高規格堤防上5箇所(E, F, G, H, I) ※Eを高規格堤防化
5	高規格堤防上3箇所(F, G, H), 堤内地2箇所(B, D : 収容者無制限)

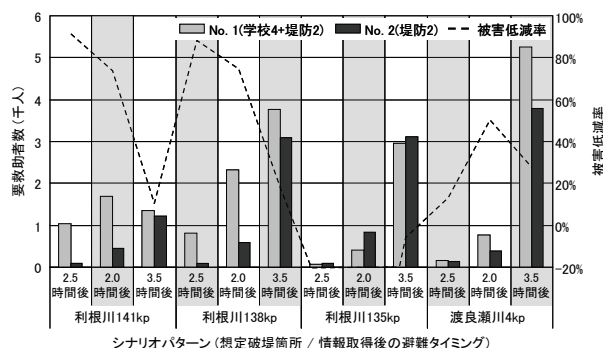


図-4 高規格堤防上への避難誘導効果

る意向を示しており、実際の洪水時においては、計画に反してこれらの避難場所に避難者が集中する危険性が高い。

そこで、避難計画通りに避難行動が実施されなかった場合の状況について把握するため、堤内地の4箇所の学校と高規格堤防上の2箇所を合わせた6箇所の避難場所全てを対象に、自宅から最も近い避難場所に避難した場合(表-2のNo. 1、以下同様)と、計画通りに2箇所の高規格堤防上の避難場所のみを対象として避難した場合(No. 2)のシミュレーション結果を比較する。なお、住民の避難タイミングについては、避難施設の整備や避難誘導などの効果について明確な結果が表れるようにするため、避難勧告の発令から避難開始までが遅れた場合を想定することとし、避難勧告を取得した2.5時間後から3.5時間後まで30分ずつ変化させた3パターンを設定した。また、避難勧告の発令タイミングは、前項で設定した避難判断水位到達時とした。

シミュレーション結果を図-4にまとめる。この図には、被害の変化を明確にするため、No. 1による結果を基準とするNo. 2の要救助者数の低減率を併記している。この結果によると、ほとんどのシナリオパターンにおいて、高規格堤防上に避難を誘導した場合を示すNo. 2による被害の方が少なく、最大で8割を超える低減率となった。この要因について調べると、No. 1を設定した場合、避難者が学校に集中するため収容可能人数を超過し、収容不能となった後からの避難者がその場から堤防上の避難場所に向けて避難路を変更するため、全体的に避難完了までの時間が遅延している様子がみられた。なお、利根川135kpでの破堤を想定した場合は被害が拡大しているが、一部の避難者の避難経路が破堤地点付近を通過していることがその要因である。

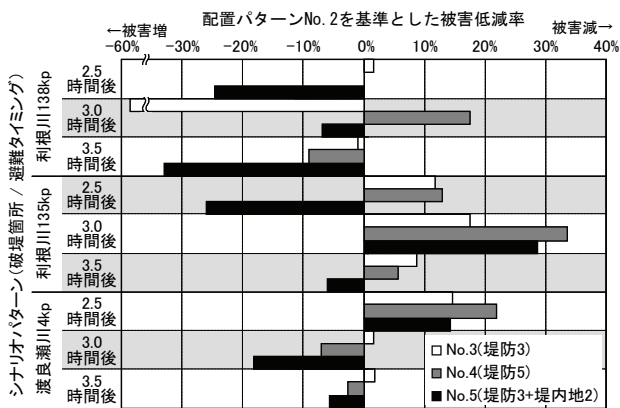


図-5 避難場所配置パターン別の被害低減率

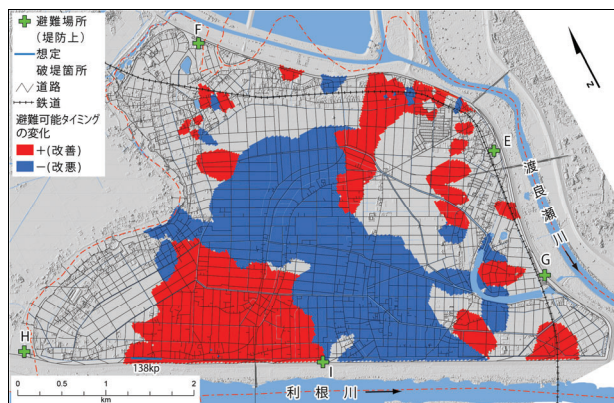


図-6 避難可能時間の変化

c) 高規格堤防上の避難場所整備による効果

ここでは、高規格堤防の整備に伴い堤防上の避難場所が増加した場合 (No. 3, No. 4) の効果を把握する。また、前述の分析によると、学校を避難対象に含めた場合、収容能力の問題により被害が拡大することが把握された。そこで、大規模な避難施設を堤内地に整備した場合の効果について把握するため、収容者を制限しない避難場所を設置した場合 (No. 5) の効果を合わせて検討する。

各配置パターンによる効果を把握するため、No. 2を想定した場合を基準とする各パターンの被害低減率を図-5にまとめる。まず、この図から高規格堤防上の避難場所の増加による効果を把握するために、No. 3, No. 4の結果に注目すると、多くの場合、堤防上の避難場所の増加によって、被害が低減する傾向にあることが分かる。しかし、利根川138kpが破堤した場合など、想定する破堤箇所によっては、効果が見られない場合もあることも分かる。後者の要因について調べるため、避難場所まで洪水被害を受けずに到着可能な避難開始から破堤までの最短時間を避難可能時間と定義し、No. 2とNo. 3を設定した場合それぞれについての結果を比較した。図-6は、No. 3とNo. 2の避難可能時間の差の正負を示した図である。この図で+ (改善) となっている地域は、No. 3の避難可能時間の方が長い地域、つまり避難場所を増加させることによって避難時間に余裕が生じた地域を示す。一方、- (改善) となっている地域は、避難場所の増加によって逆に

避難の余裕が減少した地域を示している。なお、この結果は破堤箇所として利根川138kpを設定したものである。この結果によると、避難場所I付近において、破堤箇所に近い上流側は、正の効果が見られるものの、下流側や町の中心部においては負の効果が生じていることがわかる。負の効果が生じている地域は、避難場所の増加によって破堤箇所の方に避難方向が変化した地域と考えられるため、避難方向と破堤箇所の位置関係によってこのような被害の傾向が生じていることが分かる。次に、図-5に示したNo. 5の結果から堤内地に避難場所を整備した場合の効果についてみると、ほとんどのシナリオパターンにおいて、被害が拡大していることから、仮に堤内地の避難施設の収容可能人数を改善したとしても、被害は拡大する傾向にあることが分かる。

以上の結果から、対象地域においては、十分な収容能力を持つ避難場所が整備されたとしても、堤内地の避難場所に避難する計画は、被害の拡大を招いてしまう危険性があり、高規格堤防上に避難を行うことが人的被害の低減に向けて有効であると言える。ただし、堤防上に避難する場合は、破堤箇所との位置関係によって被害が拡大する可能性もあることから、避難場所は少数の個所に限定せず、可能な限り増加させる必要がある。

4. おわりに

本研究では、河川沿岸地域において重要な問題である洪水避難対策の検討を目的に、洪水時における地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを構築した。また、大規模河川の沿岸地域を対象にシミュレーションを実施し、河川水位に基づく避難勧告の発令や、高規格堤防上における避難施設整備の有効性について分析した。今後は、避難誘導や情報伝達戦略について本技術を用いて引き続き検討する予定である。また、本シミュレーションは、計算結果をアニメーションとして表現することが可能であることから、分析から明らかとなった水害に関する地域の危険性や洪水時における適切な対応行動について分かりやすく説明する防災教育ツールとしての適用や効果分析を実施する予定である。

謝辞：本研究は、平成19年度科学研究費補助金・基盤研究(A)【課題名：災害に強い地域社会の形成技術に関する総合的研究 課題番号：19206055 研究代表：片田敏孝】の助成を受けたものである。また、実施に当たっては、国土交通省利根川上流河川事務所、北川辺町役場からの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 片田敏孝ほか：災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発，土木学会論文集，No. 625/IV-44，pp. 1-13，1999.
- 2) 須賀亮三ほか：水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する研究，水工学論文集，39巻，pp. 879-882，1995.