

浸水リスク分析に基づく浸水対策に関する研究

THE STUDIES ON INUNDATION MEASURES BASED ON FLOOD RISK ANALYSIS

河川政策グループ 首席研究員 柳澤修

本研究では、都市河川を対象とし、河川・下水道・氾濫原を一体として捉え、気候変化の影響により増大する豪雨によって引き起こされる浸水リスクについてリスクカーブの変化点等に注目して分析し、浸水・被害特性を踏まえた被害軽減対策の考え方について検討した結果を報告する。

Key Words: 気候変化、適応策、浸水特性、浸水被害、被害軽減、リスク分析

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書では、CO₂等温室効果ガスの削減を中心とした温暖化の「緩和策」を行ったとしても気温の上昇は数世紀続くことから、その進行は不確実性を有するものの、気候変化による影響はもはや避けられないとの認識が示されている。この地球温暖化に伴う気候変化によって台風等の豪雨の増大が懸念され、水害範囲の広域化や浸水深の増大等の危険性が高まる可能性がある。

このため、気候変動適応策（以下、「適応策」という。）を展開していく必要があるが、以下の課題を有している。

- ① 降雨量の増加に対応する施設整備には時間を要することから、整備途上の安全性の確保を如何に行うべきか。
- ② シナリオの不確実性・不確定性に対して、どのように対処すべきか。

上述した課題について検討するため、本研究では、気候変化による降雨によって引き起こされる浸水を再現できる河川・下水道・氾濫原を接続した不定流モデルにより氾濫計算を行い、氾濫計算結果を用いて氾濫ブロック全体と各氾濫ブロックの浸水被害の深刻度を踏まえて対策を優先すべき氾濫ブロックを抽出し、各氾濫ブロックのリスクカーブを整理し、リスクカーブの変化点に着目して被害モードの変化について分析を行った。さらに、各氾濫ブロックにおける時間経過と浸水・被害状況の変化について分析し、浸水・被害発生メカニズムを考慮した適応策の考え方について検討を行った。

本稿では、都市河川を事例として、治水施設の整備途上にある河川における浸水リスク分析に基づく適応策の進め方について検討を行った結果を報告する。

なお、手法は確立されたものではなく、試行として行ったものである。

2. 検討対象河川の概要

都市河川では、流域の急激な市街地化が進んだことで、保水・浸透機能が低下し、大雨による水位の増大が激しくなり、一旦氾濫すると大きな浸水被害が生じる危険性も高まった。このため、この流域一体となった治水対策を講じることによって治水安全度はある程度向上してきたが、気候変化の影響により増大する豪雨によって水害範囲の広域化や浸水深の増大等が懸念され、また都市特有の複雑な氾濫現象により被害形態の変化も懸念される。

以下に、都市河川が抱える特徴的な課題を示す。

- 依然として続く流域内人口の増加及び資産の集積により、破堤による被害ポテンシャルが増加していること。
- 都市化の進展により降雨からピーク流量までの時間が非常に短いこと。
- ポンプ排水区域では、破堤による外水氾濫と内水氾濫の双方が発生すること。
- 高齢者（災害弱者）の増加、地下利用等の土地利用の高度化等による水害の被害ポテンシャルが増加し、社会の脆弱性が増加していること。

3. 検討対象降雨の設定

世界各国の研究機関で計算されている A1B シナリオに基づいた複数モデルの温暖化予測結果では、日本周辺の気温上昇量は将来（2080～2099年）約 1.3℃～4.1℃と推定されている¹⁾。

そこで、“気候変化の影響により変化する豪雨”の降雨量の推定にあたっては、台風の再現性が確認されたメソ

2) 経済被害

経済被害は、「治水経済調査マニュアル(案)」(2005年4月国土交通省河川局)に則り、一般資産被害等の直接被害と間接被害を算出した。なお、間接被害に用いた営業停止・停滞日数は、氾濫計算結果より排水に要する時間を算出し用いている。

(4) 浸水リスク分析

各氾濫ブロックにおける内水・内外水の死者数・被害額について、外力の確率規模との関係をリスクカーブとしてグラフ化して評価を行った。図-3に一例を示す。

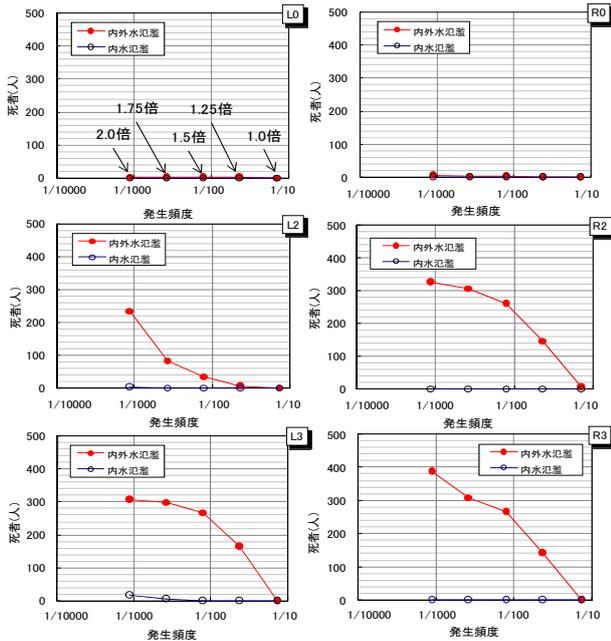


図-3 リスクカーブ (死者数)

被害の変化点は、浸水深や浸水面積、資産や人口の平面分布、高度分布等の様々な要因が含まれており、リスクカーブの形状は様々である。各氾濫ブロックの被害の軽減や最小化を考えた場合、各氾濫ブロックの被害の深刻度や被害モードが変わる変化点を見出す必要がある。

そこで、人的被害については、死者数を浸水区域内人口で除した被害率“死者数の比率”を用い、経済的被害については、被害額を浸水面積で除した単位面積当たりの被害額“被害額密度”を用いて評価を試みた。

1) 死者数と死者数比率による分析

図-4に死者数及び死者数の比率と外力規模(発生頻度)との関係を示す。

- 内水氾濫及び内外水氾濫のいずれにおいても、拡散型氾濫ブロック(L0, L1, R0)よりも、浸水深が比較的大きい貯留型氾濫ブロック(L2, L3, L4, L5, R1, R2, R3, R4, R5)で死者数は多い傾向がある。
- 貯留型氾濫ブロックL3を例に、外力規模(発生頻度)と死者数の関係を見ると、内外水氾濫のリスクカーブは、外力1.5倍以上では伸び率は鈍化し推移する。

これは、L3ブロックが貯留型氾濫ブロックであり、被害の生じる上限近くの浸水深に達していることが要因として考えられる。

- 貯留型氾濫ブロックL4を例に、外力規模(発生頻度)と死者数の関係を見ると、内外水氾濫及び内水氾濫ともに死者数は少ないが、外力規模(発生頻度)と死者数の比率の関係では一定の外力規模を超えると急激に被害発生する傾向がある。これは、L4ブロックが比較的標高の高い貯留型氾濫ブロックであることから、1.5倍を超える外力が生じた場合に浸水被害が発生することを示している。

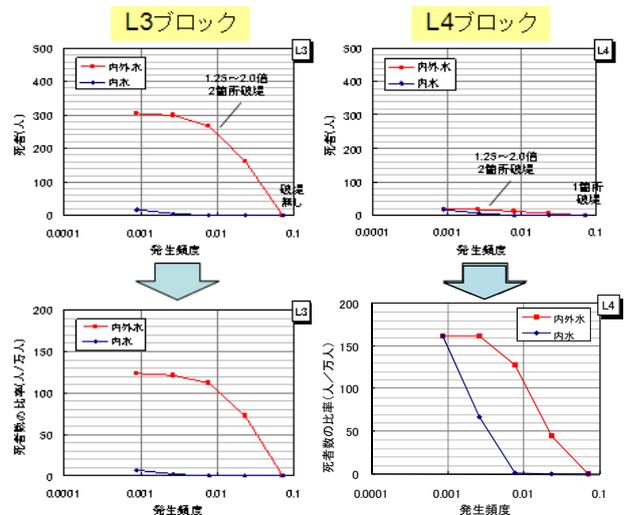


図-4 死者数・死者数比率と外力規模(発生頻度)の関係

2) 被害額と被害額密度による分析

図-5に被害額・被害額密度と外力規模(発生頻度)の関係を示す。

- 被害額では拡散型氾濫ブロックが大きいですが、被害額密度(単位面積当たりの被害額)では貯留型氾濫ブロックが大きい傾向がある。
- 拡散型氾濫ブロックL0を例に、外力規模(発生頻度)と被害額との関係を見ると、内外水氾濫のリスクカーブは外力規模に応じて被害額は増加しているが、外力規模(発生頻度)と被害額密度との関係では、外力規模による被害額密度のリスクカーブの変化点は見られない。これは、L0ブロックが拡散型氾濫ブロックであることから、外力規模(発生頻度)に応じて被害が拡大することを示している。
- 貯留型氾濫ブロックL3を例に、外力規模(発生頻度)と被害額密度との関係を見ると、外力1.0~1.5倍と1.5~2.0倍でリスクカーブの勾配が異なり、1.5倍以上では伸び率は鈍化し推移する。これは、先述したように、L3ブロックが貯留型氾濫ブロックであることに起因するものと考えられる。また、貯留型氾濫ブロックは、拡散型氾濫ブロックよりも単位面積当たりの被害額が大きくなる傾向がある。

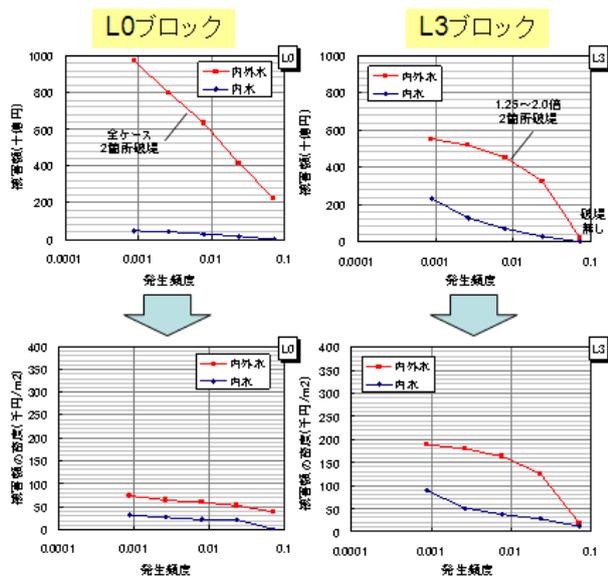


図-5 被害額・被害額密度と外力規模（発生頻度）の関係

上記の結果、各氾濫ブロックのリスクカーブは、資産の集積状況、拡散型氾濫・貯留型氾濫の氾濫特性に応じた特性があることが明らかになった。

3) 浸水・被害の変化の分析

気候変化の影響により、豪雨の降雨強度の増大や出現頻度の増大が想定され、適応策としての治水対策メニューとその実施時期を検討する上で、気候変化後の豪雨によって引き起こされる各氾濫ブロックにおける時間経過と浸水状況・被害状況の変化等の浸水被害特性の把握が必要となる。

そこで、各氾濫ブロックのリスクカーブの変化点が概ね1.5倍～1.75倍であることを踏まえ、検討外力として戦後最大降雨の実績雨量の1.75倍を対象として氾濫計算を行い、浸水・被害発生メカニズム（時間経過と被害形態及び浸水状況）について分析した（図-6 参照）。また、各段階で効果的と考えられる対策メニューを抽出した。

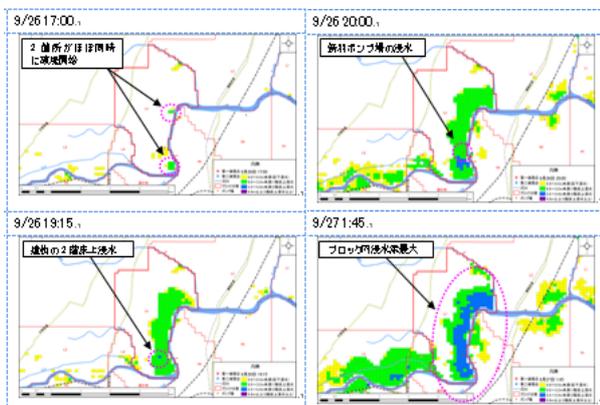


図-6 L3ブロックにおける時間経過と浸水・被害の変化

この結果、降雨から被害発生に至るまでの時間的経過

と対策メニューを整理した結果、各段階で効果的と考えられる対策は順次移り変わり、ハード対策とソフト対策の双方を組み合わせたシームレスな取り組みが必要であることがわかった。

5. 適応策を優先すべきブロックの抽出の考え方

適応策を優先すべきブロックについては、氾濫ブロックの人的被害の深刻度を評価し、氾濫ブロック全体と各氾濫ブロックの人的被害（死者数）のリスク（期待値）と、人的被害の被害比率のリスク（期待値）を算出し、その大小関係により対策を優先すべきグループを抽出する。

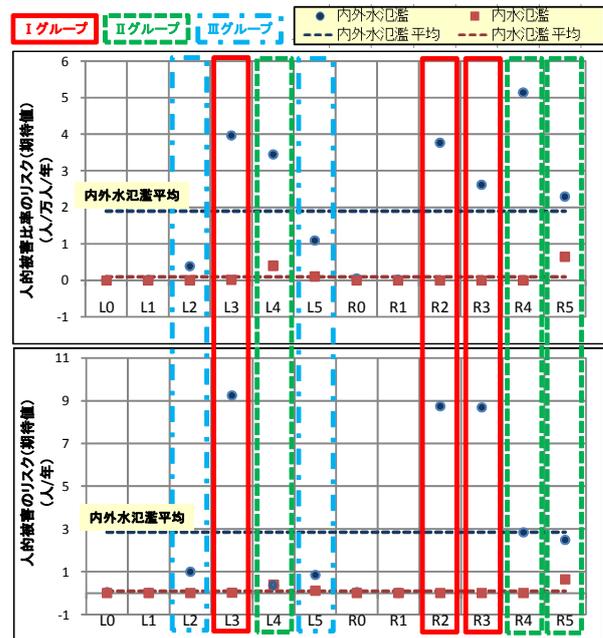


図-7 人的被害と人的被害比率のリスク（期待値）の関係

6. 対策メニューの検討

適応策としての対策メニューは、洪水規模と浸水・被害状況の変化点の関係は氾濫特性により異なることを踏まえ、各氾濫ブロックの浸水・被害特性に着目した被害軽減対策について検討を行った。

(1) 氾濫特性を考慮した適応策選定の考え方

気候変化に伴う降雨量の増加により治水安全度は著しく低下することが懸念されることから、氾濫した場合も致命的な被害発生を回避するための対策が必要である。

そこで、将来の温暖化により変化する豪雨や現在の施設能力を超える豪雨による最悪のシナリオを想定して、これまで整備された既存ストックの更なる活用及び今後適切な追加対策を施すことも想定し、各氾濫ブロックの浸水・被害発生過程に応じた対策を選定する。

(2) 浸水・氾濫特性を考慮した適応策

整備途上にある河川の適応策の検討にあたっては、河川整備計画に基づき整備中の対策や河川整備基本方針の計画メニューも適応策の一つとして考えられることから、「既定計画」、「既存ストックの更なる有効活用」、「その他の対策」に分類し、各氾濫ブロックにおける段階的な被害軽減効果を整理することにより、適応策のパッケージとして検討を行った。以下に適応策メニューの一例を示す。

- 気候変化に伴う降雨量の増加に対応するためには、「既存ストックの更なる有効活用」と「その他の対

策」(ソフト対策)を「既定計画」に付加することが有効である。

- ソフト対策はハード対策と代替可能なものではなく、相互補完的に効果を発現していくものであり、重要な適応策であることを認識しなければならない。
- 各種対策は、浸水被害の時間経過に応じて効果を発揮するタイミングがある。このため、降雨から被害発生に至るまでの時間経過を念頭に置いて、各段階の被害の変化を考慮し、ハード対策とソフト対策を適切に組み合わせシームレスに取り組む必要がある。

表-3 適応策メニューの一例

グループ区分	対象ブロック	既定計画	既存ストックの更なる有効活用	その他被害軽減方策
I	人的被害が顕著で死者数比率が大きい氾濫ブロック	【河川対策】 ●河道掘削 ●放水路の整備 【流域全体】 ●既存調整池の改良 【当該ブロックでの対策】 ●ポンプ排水量の増強	【下水道対策】 ◆A雨水幹線の流末ポンプ場の増強 【河川対策】 ◆多目的遊水地の改良 【流域対策】 ◆雨水浸透施設の整備 【当該ブロック】 ◆ポンプ場の耐水化 ◆ポンプ運転調整	【当該ブロックでの対策】 ■洪水予測と情報の周知 ■情報提供の改善 ■啓発活動の推進 ■耐水型住宅の推進 ■土地利用規制 ■家屋等への流入防止施設 ■避難計画の検討 ■ポンプ車による排水
II	上記 I に次いで人的被害が発生し、死者数比率が大きい氾濫ブロック	Iグループと同じメニュー + 【当該ブロックでの対策】 ●A雨水幹線の整備 (L4, R5はポンプ排水量の増強はない)	Iグループと同じメニュー + 【当該ブロックでの対策】 ◆B雨水幹線の流末ポンプ場の増強 (R4, R5)	Iグループと同じメニュー + 【当該ブロックでの対策】 ■農地の保全
III	上記 II に次いで人的被害が発生し、死者数比率が大きい氾濫ブロック	Iグループと同じメニュー	Iグループと同じメニュー	Iグループと同じメニュー + 【当該ブロックでの対策】 ■農地の保全
IV	上記 I ~ III 以外の氾濫ブロック	Iグループと同じメニュー	Iグループと同じメニュー + 【当該ブロックでの対策】 ◆堤防強化 (L0・L1)	Iグループと同じメニュー

7. まとめと今後の課題

(1) 治水施設の整備途上にある河川における気候変動適応策の進め方

①気候変化による豪雨の増大に対してハード対策のみで浸水被害をゼロとすることはできないこと、②ハード整備の完成までには時間を要すること、③ソフト対策はハード対策と代替可能なものではなく相互補完的に効果を発現していくものであることを踏まえ、降雨から被害発生までの各段階の被害の変化を考慮し、ハード対策とソフト対策を適切に組み合わせ、シームレスに取り組む必要がある。

(2) シナリオの不確実性・不確定性を考慮した気候変動適応策の進め方

既定計画の早期実現に加え、既存ストックの有効活用によるハード対策と、人・資産の移動等の即時性のある対策(主にソフト対策)が必要である。

今後、適応策としての治水対策を実施していく上での役割分担や実施手順について関係者と調整していくためには、リスクカーブをリスク・コミュニケーション・ツールとして用い、各種対策の被害軽減効果について分析し、適切なハード対策とソフト対策の組み合わせについて検討していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Yasuhiro Ishizaki, Toshiyuki Nakaegawa and Izuru Takayabu, Comparison of Three Bayesian Approaches to Project Surface Air Temperature Changes over Japan Due to Global Warming, SOLA, Vol. 6, pp21-24, (2010).
- 2) Maged Aboelata & David S. Bowles, LIFESim : A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures