

首都圏大規模水害における 氾濫域の脆弱性評価に関する研究

A STUDY ON THE VULNERABILITY ASSESSMENT OF INNUNDATION AREAS
IN THE EVENT OF A LARGE-SCALE FLOOD IN THE TOKYO METROPOLITAN AREA

(財) 国土技術研究センター 河川政策グループ 首席研究員 岡安 徹也

利根川や荒川といった大川は、その氾濫域に首都圏を擁し、一度破堤氾濫が生じた場合には社会経済に及ぼす影響は計り知れない。このため首都圏大規模水害におけるリスクを評価し、有効な対応策を立案することが必要である。本論文は、利根川や荒川等の堤防が決壊した場合における氾濫状況のシミュレーションを行い、氾濫流の挙動や氾濫形態の分析、死者数、孤立者数の推定、その他の被害様相の想定等に基づく氾濫域の脆弱性の評価に関する研究報告である。

Key Words: 大規模水害、被害想定、水害リスク、氾濫解析、脆弱性評価

1. 研究の背景と目的

日本では、1947年カスリーン台風、1959年伊勢湾台風など、かつて大規模な水害が発生していた。その後、堤防等の治水施設等の整備が進められるとともに、災害対策基本法の施行が行われ、洪水への対応力は向上してきている。

しかしながら、治水施設は未だ整備途上であり、首都圏を流れる利根川・荒川において戦後最大であるカスリーン台風級の洪水が再び発生した場合には、利根川本川の堤防が決壊し、東京都区部まで広範囲にわたり浸水する大規模水害が発生するおそれがある。

特に首都圏は、戦後の経済成長に伴い、政治、経済等の諸機能が極めて高度に集積するとともに、人口や建物が密集し、地下空間も大規模かつ複雑に利用されていること等を勘案すると、水害発生時の人的リスクや連鎖的な被害の拡大に伴う間接的リスクの増大等、治水安全度の向上に対して、むしろ水害リスクは増大していると考えられる。

また、ハリケーン・カトリーナに見られるような大規模災害後の被災した地域の復旧・復興に、多大な費用と時間を要することが想定される。

さらに、近年、大雨の発生頻度が日本では増加傾向にあることや、地球温暖化による大雨の頻度の増加や海面水位の上昇など、防災面から懸念される予測が出されている。

これらのことから、利根川や荒川等の堤防が決壊した

場合における氾濫状況のシミュレーションによる氾濫流の挙動、氾濫形態の分析や死者数、孤立者数の推定、その他の被害様相の想定等に基づく氾濫域の脆弱性の評価を実施し、大規模水害発生時の対応を中心に首都圏において講ずべき大規模水害対策の策定が喫緊の課題となっている。

本論文では、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」における検討を踏まえ、大規模水害に関する氾濫域の脆弱性評価の考え方や検討事例、今後の課題について報告するものである。

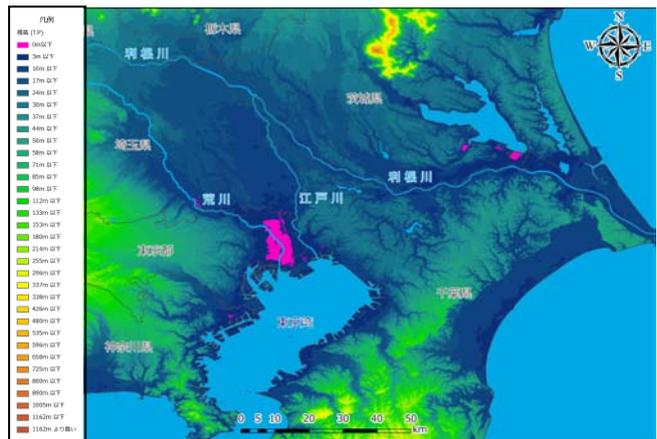


図-1 利根川・荒川流域

2. 大規模水害時に想定される被害事象

既往の大規模水害の概要を以下に示す。

(1) カスリーン台風洪水災害 (1947年)

カスリーン台風による洪水災害は、戦後間もない首都

圏に、広範囲にわたって壊滅的な被害を与えた洪水であり、利根川流域における戦後最大規模の洪水である。

カスリーン台風の接近に伴い、9月13日から15日夜半にかけて激しい雨が降り続き、総降水量は400mm以上に達した所もあった。この大雨による出水により、9月16日0時20分に埼玉県東村（現在の加須市（旧大利根町））で利根川本川が決壊し、氾濫流は東京にまで達して、葛飾区、江戸川区の大半が水没した。

氾濫浸水面積は約440km²にも及び、浸水深が2m以上となった所も多く、東京都金町・平井付近の低地部では十数日間も浸水が継続した。

カスリーン台風により、全国で全・半壊・一部破損住家数：9,298棟、浸水家屋数：384,743棟、死者数：1,077人、行方不明者：853人等の被害が生じた。

(2)伊勢湾台高潮災害（1959年）

日本において、阪神・淡路大震災（1995年）が発生するまで、戦後最多の犠牲者数を数えた大規模な風水害である。

本災害を契機に、日本の災害対策について定めた災害対策基本法が制定された。また、現在の高潮対策は、本台風級の高潮を防御できるよう進められている。

伊勢湾台風は、9月26日に和歌山県潮岬の西に上陸し、満潮と台風による海面水位の上昇、暴風による吹き寄せにより、既往最大の潮位を観測した。

伊勢湾周辺の海岸、河川堤防が決壊し、名古屋市南部、木曾三川下流デルタ地帯が長期間浸水し甚大な被害が発生した。

全・半壊・一部破損住家数：833,965棟、浸水家屋数：363,611棟、死者数：4,697人、行方不明者数：401人の被害が生じた。死者・行方不明者数5,098人は、日本の水害のうち最大の被害である。

(3)ハリケーン・カトリーナ災害（2005年）

米国南東部を襲った大規模な風水害で、米国史上最悪の天災の一つに数えられる。

多くの犠牲者が出たほか、約130万人の避難者が発生した。避難時の渋滞、災害時要援護者の避難対応など、今後の災害対応を検討する上で数多くの教訓を残している。被災地では、今なお復興対策が続いている。

8月26日カテゴリー5の勢力に発達したハリケーン・カトリーナは、29日米国ルイジアナ州東部付近に上陸し、メキシコ湾及びポンチャートレーン湖の水位が上昇した。

運河堤防、海岸堤防の決壊等が発生し、ニューオーリンズ市では、市域の約8割が浸水した。その際、市民の約8割（約40万人）が避難している。

住家被害数：約30万棟、死者数：1,833人、行方不明者：数百人、直接被害額：960億ドルの被害が生じた。

以上の既往の大規模水害における被害の事象並びに現在の首都圏の社会経済活動状況や社会基盤施設の整備状況を踏まえると、大規模水害時には、以下に示すような

被害事象が想定される。¹⁾

- ① 大規模水害時の浸水域は、堤防の決壊箇所近傍付近にとどまらず、下流域まで広大な地域に広がる場合がある。また、地域の大半が浸水し壊滅的な被害を受ける市区町村や、市役所等の代替施設の確保など広域的な対応が不可欠になる市区町村が存在する。
- ② 浸水深が3階以上等に達し、避難しなかった場合には死者の発生率が極めて高くなる地域がある。また、建物の高さ等の状況から付近において安全な避難場所を確保することが困難であり、市区町村外への広域避難が不可欠となる地域がある。
- ③ 大規模水害時の氾濫水量は膨大で、地下空間の一部が浸水した場合、短時間で地下空間に浸水が拡大し、地下空間からの逃げ遅れによる人的被害の発生やビルの地下部分の浸水による機能麻痺などの被害が発生する可能性がある。
- ④ 浸水により電力設備が浸水し電力の供給が停止する場合や、個別住宅やマンションの電源設備が浸水し停電する場合、漏電による二次被害が想定されるために送電が可能であっても電力の供給を停止する場合がある。また、オフィスビル等の受電設備は地下に設置されている場合が多く、浸水による設備被害が生じるため、設備の復旧のために全く電力が使えない状況が長期間生じる可能性がある。
- ⑤ 浸水継続時間が長く、孤立期間が長期間にわたることが想定される地域がある。このような地域においては、浸水により電気、上下水道、ガス等が長期間使用できなくなり、孤立時の生活環境の維持が極めて困難となる。
- ⑥ 堤防決壊に至る前から、台風の進路、雨量や河川水位等の情報により被害発生の予測が可能である。そのため、堤防決壊の予測に関連する情報の収集と分析に基づき事前の避難行動を的確に行うことにより、効果的に被害軽減を図ることが可能である。
- ⑦ 堤防決壊箇所近傍から下流域へ浸水域が拡大するまでに時間を要する場合がある。一方、河川の堤防決壊箇所近傍の地域は、越流や堤防決壊から浸水までの時間は短く、避難のための猶予時間が少ない点に留意すべきである。

3. 大規模水害時の氾濫域の脆弱性評価

前述に示したとおり、人口や資産が集積している都市域の大規模水害は、生起確率は極めて小さいが、一度生起すれば多くの人口・資産に多大な損失を与えるとともに、都市・中枢機能に大きな影響を与えるという特徴を有している。また、東京等の三大首都圏を考えれば沖積

表-1 被害評価項目一覧

被害発生要因	被害種別	被害評価項目		
広域(長期)浸水	人的被害	人命損傷		
		一般資産被害	家屋 家庭用品 事業所償却資産 事業所在庫資産 農漁家償却資産 農漁家在庫資産	
	直接被害	農作物被害		
		公共土木施設被害	道路、街路、橋梁、公園、 下水道、上水道、電気、ガス、 農地、農業用施設、鉄道、電話等	
		地下空間被害	地下鉄や地下街の浸水被害	
		関連被害	自動車や危険物の流出	
		文化財被害	歴史的建造物、絵画等	
		間接被害	営業停止被害	家計 事業所 公共・公益サービス
			応急対策費用 (事後的復旧 : 清掃・消毒等)	家計 事業所 国・地方公共団体
			交通途絶波及被害	道路、鉄道、港湾、空港の交通途絶に 伴う周辺地域を含めた波及被害
		ライフライン切断波及被害	上下水道、電気、ガスの停止に伴う周 辺地域を含めた波及被害	
		営業停止波及被害	中間製品の不足や本社機能・物流機 能による周辺事業所の生産量の減少 (サプライチェーンの機能低下)や病院 等の公共・公益サービスの停止等に よる周辺地域を含めた波及被害	
	国民経済波及被害	GDP等国民経済の低下		
	間接被害	精神的被害	人身被害に伴うもの 資産被害に伴うもの 稼働被害に伴うもの 事後的被害(清掃)に伴うもの 波及被害に伴うもの	
		リスクプレミアム	被災可能性不安 復旧・復興の遅延	
		その他	医療・救護機能の低下 治安機能低下 水害廃棄物処理	
	広域(長期)避難	大量・長期の 避難者の発生	大量・長期の避難場所の確保 大量・長期の物資補給	
逃げ遅れ者の発生		救助・救護の発生 避難途上の罹災者の発生		
災害時要援護者対応				

※黄色の塗りつぶし被害評価項目は「治水経済調査マニュアル(案)」に評価手法が示されている項目

低地に市街地が広がっているために被害の大きさ及び広がり方が極めて大きいことから、中枢機能の停止に伴う損失、交通インフラやライフライン等が機能低下することによる他地域への波及被害など、カストロフ性(不可逆性)や物理的被害が他の被害を誘発する外部性が大きいことも特徴と言える。このような観点から、首都圏大規模水害時の氾濫域の危険度を評価する際の視点として表-1に示す事項が考えられる。

これらの被害項目のうち、日本では、黄色の着色で示した項目については「治水経済調査マニュアル(案)」を策定して、治水事業実施に際しての水害リスクとして貨幣価値に換算して評価を実施している。

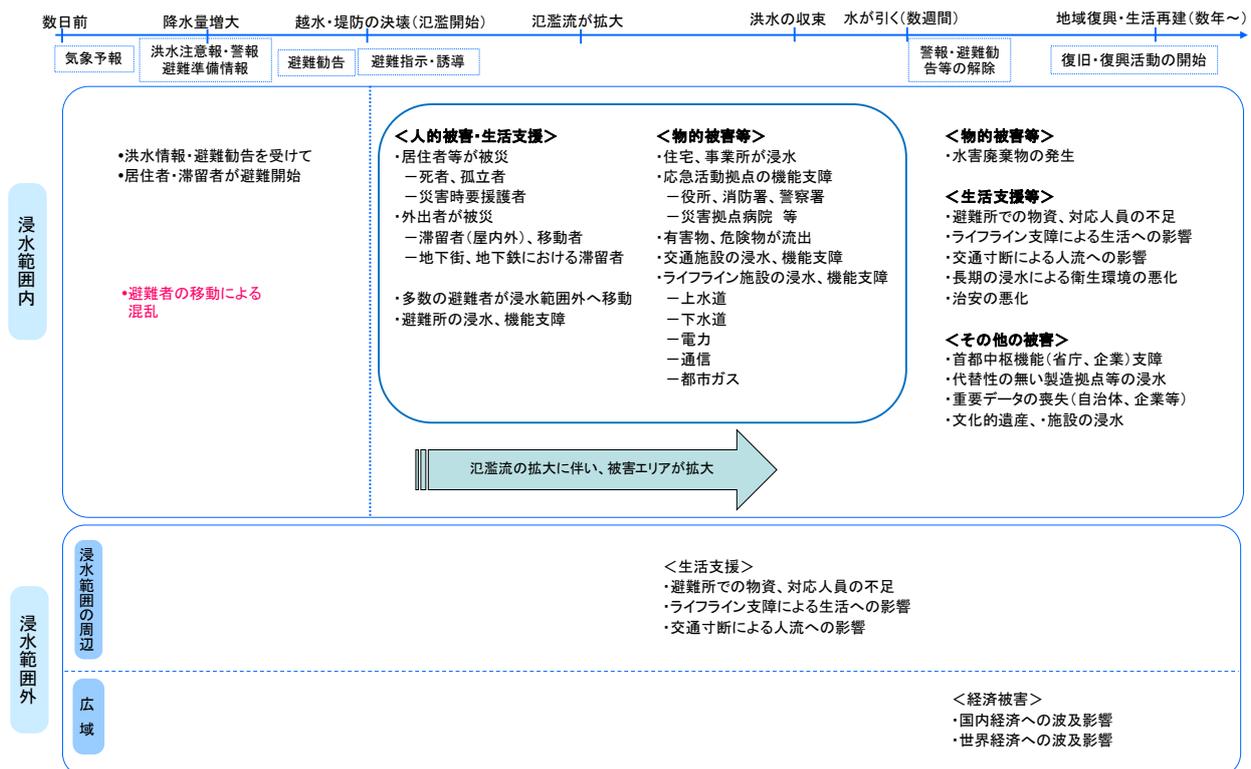
一方、それ以外の白色で示した項目については、貨幣価値が困難であり、氾濫解析に基づく被害想定を実施してリスクの可視化を実施する必要がある項目であり、治水事業の計画策定等において、評価結果を十分に反映できていない項目である。

本報告では、首都圏大規模水害時における貨幣価値化が困難な被害項目について、氾濫計算結果を基に、被害の様相に関する定量的・定性的評価の結果を紹介する。

(1) 首都圏大規模水害の氾濫計算¹⁾

利根川・荒川では、1/200の発生確率の洪水流量を対象に治水計画を策定している。首都圏大規模水害の氾濫域で6つの氾濫ブロック、荒川流域で5つの氾濫ブロックを設定して、各氾濫ブロックで被害最大となる破堤点を設定し、排水ポンプや水門操作が稼働しない最悪条件での1/200の洪水流量における氾濫計算を実施し、氾濫浸水状況を検討した。

図-2 大規模水害時の被害シナリオ¹⁾



(2) 首都圏大規模水害時の被害シナリオ¹⁾

大規模水害時には、浸水区域内外において、堤防決壊以降の時間経過に従い様々な被害事象が生じる。その中で主要な被害事象を図-2に示す。

(3) 首都圏大規模水害時の主要な被害（想定結果）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」において検討された首都圏大規模水害時の主要な被害の概要を以下に示す。

a) 利根川右岸堤防決壊の場合

利根川右岸 136.0km 地点（カスリーン台風時の破堤箇所）が決壊した場合には、浸水面積は約 530km²、概ね 48 時間で東京都区部まで浸水が到達し、最大浸水深は 2～5 m に達する。排水ポンプが稼動しない最悪の状況を考慮すると、浸水深 50cm 以上の浸水継続時間は、東京都区部で 14 日以上の長期の浸水となる。

このような浸水状況下において、浸水区域内人口は約 230 万人、浸水世帯数は約 86 万世帯（床上浸水：約 68 万世帯、床下浸水：約 18 万世帯）であり、避難率 0% の最悪のケースでは、死者数は約 2,600 人、孤立者数は最大約 110 万人（2 日後）となる。

浸水による住家の被災は、全壊家屋（家屋被害率 50% 以上）が約 12.5 万戸、大規模半壊家屋（家屋被害率 40% 以上 50% 未満）が約 5 万戸、半壊家屋（家屋被害率 20% 以上 40% 未満）が約 16 万戸となる。

一般資産被害総額は約 12 兆円となり、東京都区部毎の被害額は区の単年度予算額の約 6～22 倍の規模になる。

表-2 利根川決壊の場合のライフライン被害想定

利根川右岸136.01km地点破堤	
ライフライン	被害状況
電力	約59万軒(東京都:約43万軒、埼玉県:約16万軒)
ガス	約26.6万軒(東京都:約16.2万軒、埼玉県:約10.4万軒)
上水道	約14万人(給水制限)(東京都:支障なし、埼玉県:約14万人)
下水道	約180万人(汚水処理)(東京都:約150万人、埼玉県:約120万人) 約70万人(雨水排水)(東京都:約70万人、埼玉県:多数発生)
通信	約61万人加入(固定電話)(東京都:約41万人、埼玉県:約47万人) 約40万在圏(携帯電話)(東京都:約22万在圏、埼玉県:約18万在圏)

* どの場合も供給側施設の浸水による支障に関する想定結果。
* 停電による供給側施設の途絶や個別住宅等の浸水による支障は含まないため、支障件数はさらに増加すると想定される。
* 上水道及び携帯電話の支障件数は、停電による供給側施設の途絶を考慮。

b) 荒川右岸堤防決壊の場合

荒川右岸 21.0km 地点が決壊した場合には、浸水面積は約 110km²、東京都心部まで浸水が到達し、最大浸水深は 2～5m に達する。

このような浸水状況下において、浸水区域内人口は約 120 万人、浸水世帯数は約 51 万世帯（床上浸水：約 45 万世帯、床下浸水：約 6 万世帯）であり、避難率 0% の最悪のケースでは、死者数は約 2,000 人、孤立者数は最大約 86 万人（1 日後）となる。

また、地下鉄等への浸水被害も発生し、現況（止水板等の条件：出入口は高さ 1m の止水板、坑口部はなし）の場合は、17 路線、97 駅、浸水延長距離約 147km の浸水被害となり、完全に水没する駅は 81 駅、影響を受ける延べ乗降者数は約 1,400 万人/日となる。水防対策を行った場

合（止水板等の条件：出入口は残 10cm まで止水板設置、高さ 1m、坑口部は完全遮水）は、9 路線、14 駅、浸水延長距離約 17km の浸水被害が発生する。

表-3 利根川決壊の場合のライフライン被害想定

荒川右岸21.01km地点破堤	
ライフライン	被害状況
電力	約121万軒(東京都:約93万軒、埼玉県:約28万軒)
ガス	約31.1万軒(東京都:約31万軒、埼玉県:約0.1万軒)
上水道	約164万人(給水制限)(東京都:支障なし、埼玉県:約164万人)
下水道	約175万人(汚水処理)(東京都:約150万人、埼玉県:約120万人) 約120万人(雨水排水)(東京都:約120万人、埼玉県:支障なし)
通信	約92万人加入(固定電話)(東京都:約41万人、埼玉県:約11万人) 約93万在圏(携帯電話)(東京都:約75万在圏、埼玉県:約18万在圏)

* どの場合も供給側施設の浸水による支障に関する想定結果。
* 停電による供給側施設の途絶や個別住宅等の浸水による支障は含まないため、支障件数はさらに増加すると想定される。
* 上水道及び携帯電話の支障件数は、停電による供給側施設の途絶を考慮。

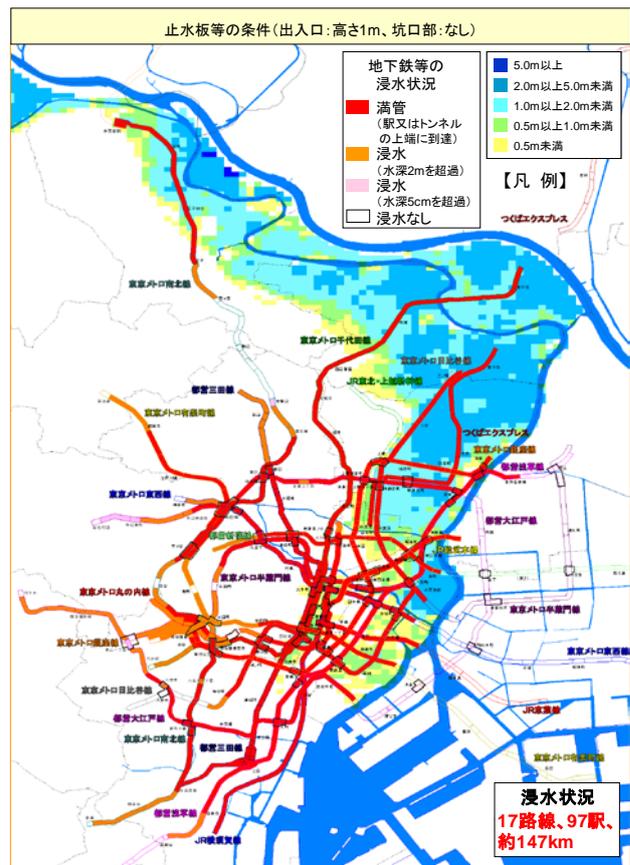


図-3 地下鉄への浸水被害（荒川右岸 21.0km 地点破堤）

浸水による住家の被災は、全壊家屋（家屋被害率 50% 以上）が約 18 万戸、大規模半壊家屋（家屋被害率 40% 以上 50% 未満）が約 3 万戸、半壊家屋（家屋被害率 20% 以上 40% 未満）が約 8 万戸となる。

一般資産被害総額は約 13.5 兆円となり、東京都区部毎の被害額は区の単年度予算額の約 30 倍の規模になる。

c) 避難・救助等における被害（影響）

大規模水害時は、浸水継続時間が長く被災範囲が広域に及ぶため移動・物資運搬の制約条件が厳しく、個々の孤立者の救助には相当な時間と労力が必要となる。

また、浸水域内の避難所に一時避難したとしても、避難のための備蓄物資は地震災害時の救援を想定し 3 日間の備蓄はあるものの、浸水を想定した保管を考慮してい

ない事例が多く、更に自宅の上層階に孤立した場合には備蓄物資がない事例がほとんどであり、一時避難者や孤立者の生命維持・精神的疲労に対しては大変厳しい状況が想定される。

d) その他の被害

その他の被害の内、文化財への被害は、浸水域内には国宝建造物が36件、博物館等が16件存在し、これらへの損傷が懸念される。

さらに、排水後の消毒作業には浸水域全体で延べ4,796班・日(約15,000人の消毒要員)、クレゾールで約26ton、生石灰で約920tonの薬剤が必要となる。

4. 氾濫域の脆弱性評価から導き出される水害対策

(1) 大規模水害の被害特性

大規模水害は、被災の範囲、被害の規模が大きだけでなく、地下空間への被害や浸水域内の孤立者の救助・救援が極めて困難であることなど、大規模水害特有の直接被害が発生するとともに、図-4に示すように、ライフラインや交通機関の直接被害により発生する波及被害や医療・救護機能の低下、水害廃棄物処理の大量発生などの間接被害が飛躍的に増加するとともに、間接

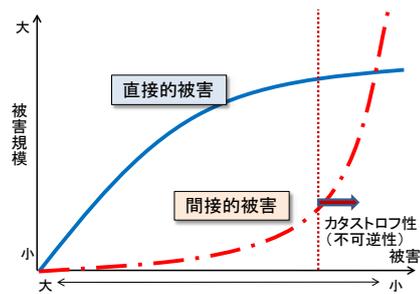


図-4 水害の発生規模と発生頻度の関係図

被害に規模によっては復旧・復興が困難となるカストロフ(不可逆性)や遅延が発生することも想定される。

従って、大規模水害時の氾濫域の危険性を評価し水害対策を立案するに際しては、従前の水害において定量的評価手法が確立している直接被害だけでなく、上述の大規模水害特有の被害事象や間接的被害を可視化し水害リスクとして評価することが重要と考える。

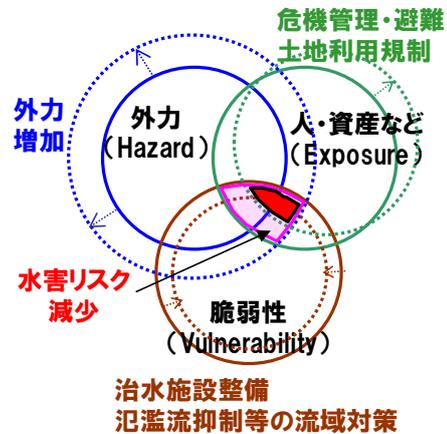
但し、現時点においては、前章に示したとおり、既往の大規模水害時の被害事象や大規模水害を想定した氾濫計算結果より、大規模水害時の被害状況の定量的・定性的把握を実施した段階であり、水害対策立案の観点から、これらの事象うち、必要な被害事象に対する標準的な評価手法の確立に向けた検討を進めていく必要がある。

(2) 水害リスク対策の基本的な考え方

各被害項目の被害評価手法の確立とともに、水害リスク評価の可視化を踏まえた対策立案の基本的な考え方やロジックの整理も併せて必要と考える。

水害リスクの可視化が可能となれば、水害と対策との関係は図-5に示すように、「外力(Hazard)」と「脆弱性(Vulnerability)」、「人・資産(Exposure)」との3要素よ

り定まる水害リスクに対して、3要素の流域における氾濫特性や被害特性、土地利用などを踏まえ、被災の要因と対策の狙う効果を考慮し、脆弱性の縮小を担う対策、人や資産の移転により被害を極小化する対策等の立案が可能となると考える。



水害リスクの要因	対策リスト	
外力(Hazard)の縮小	緩和策	CO ₂ 削減、温暖化抑止 ⇒降雨の増大抑止
脆弱性(Vulnerability)の縮小	適応策	治水施設整備の推進 氾濫流抑制等の流域対策
人・資産(Exposure)の移転		土地利用規制・誘導、建築物の耐水化、Hazard Mapの整備・普及、洪水予警報の充実、広域避難体制の整備等

図-5 水害リスクと水害対策の関係図

(3) 水害リスクのマネジメント方策

水害リスク評価に基づき抽出された水害対策は、災害の発生規模や頻度、被害のカストロフ性(不可逆性)、並びに災害に対する責任の所在や社会特性、行財政状況、リスクの受忍限界などを踏まえ、ハード・ソフト対策の分担の評価、リスクコントロールとリスクファイナンスの分担の評価など、リスク分担のあり方(被害・頻度の低減、移転、回転、保有)を定め、対策の実施の有無や組合せ、実施の優先順位を検討する必要がある。(図-6)

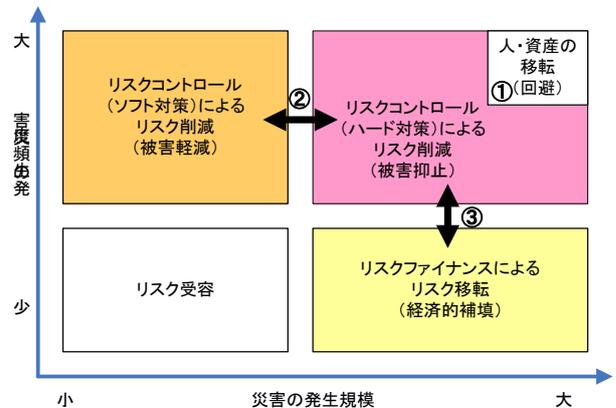


図-6 水害の発生規模・頻度から見たリスク分担の概念イメージ図

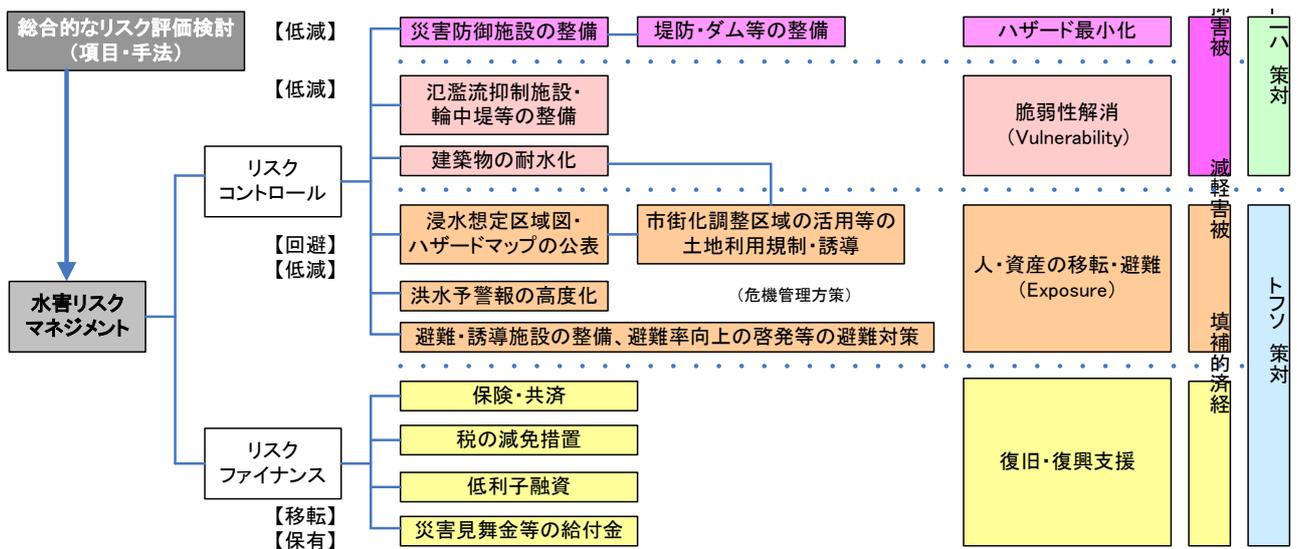


図-7 水害リスクマネジメントの概念図

また、リスク分担と水害対策、対策効果との関係を示したものが図-7である。

(4) 効果的な対策へ向けて

前章に示した首都圏大規模水時の被害事象に対する対策としては、その被害の特徴を鑑み、下記に示す対策項目が内閣府により検討されている。¹⁾

- ① 治水施設整備の着実な実施
- ② 適時・的確な避難の実現による被害の軽減
(人的被害の極小化)
- ③ 公的機関等による応急対応力の強化と重要機能の確保
- ④ 住民、企業等における大規模水害対応力の強化
- ⑤ 氾濫の抑制対策と土地利用誘導による被害軽減
- ⑥ その他の大規模水害特有の被害事象への対応
(衛生環境の確保、治安確保、文化遺産の被害軽減、水害廃棄物の処理)

しかし、これらは考えられる対策のフルメニューを示したものであり、どのような優先順位で実施すべきか、効果や効率性等を検討するまでには至っていない。対策効果や対策実施の優先順位を検討するためには、被害事象の分析を更に深める必要があると考える。

そのためには、(2)、(3)で示した検討を実施して、各種対策のリスク分担やリスクマネジメントを整理していくことが必要と考える。

なお、上記の対策には、被災後の復旧・復興過程における排水対策やライフラインや重要施設の機能復旧遅延による波及的影響を極小化するための対策は含まれてい

ない。

これらの復旧遅延対策に対する経済的補填策については、上図のマネジメント図でも触れられているが、カストロフ性(不可逆性)被害が生じるような場合には、波及的影響を極小化するための氾濫水の排水機能強化対策やライフラインや民間企業の水害リスクに対するBCPの構築、代替機能の確保等の多重化対策も、水害リスクマネジメントとして捉え、検討することが必要と考える。

以上の検討は研究・技術開発に着手したばかりであり、気候変動予測技術の進展と併せて、推進していく必要がある。今後、検討成果が取りまとめられれば、再度報告を行いたい。

参考文献

- 1) 「大規模水害対策に関する専門調査会報告」2010年4月，中央防災会議，大規模水害対策に関する専門調査会
- 2) 「治水経済調査マニュアル(案)」2005年4月，国土交通省河川局
- 3) 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)」2008年6月
- 4) 損失余命を用いた洪水のリスクコミュニケーションに関する研究，河川技術論文集，第14巻，2008年6月，湧川勝己、岡安徹也、天野雄介