

水害リスク評価手法に関する研究

A STUDY ON THE METHODS OF FLOOD RISK ASSESSMENT

湧川勝己¹・田村善昭²・岡安徹也³・菊田勇平⁴
Katsumi Wakigawa, Yoshiaki Tamura, Tetsuya Okayasu, and Yuhei Kikuta

¹正会員 工博 (財) 国土技術研究センター 河川政策グループ 研究主幹 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)

²正会員 (財) 国土技術研究センター 河川政策グループ 主任研究員 (同上)

³正会員 (財) 国土技術研究センター 河川政策グループ 首席研究員 (同上)

⁴正会員 (財) 国土技術研究センター 河川政策グループ 主席研究員 (同上)

This paper proposes the assessment method comprised of the combination of economic damage that is used in the conventional flood risk assessment, and damages to human life and critical infrastructure that are difficult to evaluate by monetary value.

The paper also examines the assessment method that considers the failure probability per dike section subdivided within a flood block. The flood block is determined in consideration of the soil characteristics, safety level and water level.

A case study was conducted at A River using the flood risk assessment adopting the methods examined above. Using the said case study, this paper also examines the means for the effective use of the flood risk map to facilitate understanding of the current risk status, direction of the adaptation measures and their effects.

Key Words : *Economic Damage, Damages to Human Life, Flood Risk Assessment, LIFE-Sim Model, Flood Risk Map,*

1. はじめに

我が国では、東海水害(2000年)、新潟・福井豪雨災害(2004年)、台風23号(2004年)による水害等のように想定規模を超える豪雨による大水害が最近相次いで発生しているうえに、近年の防災意識の希薄化等により、災害時に大災害となる潜在的な危険性が高まる傾向にある。さらに、地球温暖化に伴う気候変化は、その影響が広範囲におよび、大雨の頻度増加、台風の激化等により、洪水等が頻発・激甚化することによる水害が懸念されており、その対策の重要性は高まっている。

このように懸念される水害の対策には治水施設や流域対策が考えられるが、これらの対策の実施に向けては、治水施設や流域対策の整備効果を把握する必要がある。

そこで、本研究では、治水施設や流域対策の整備効果の把握ならびに土地の潜在的な脆弱性を評価し、治水施設や流域対策の整備手順の効果把握及び効果説明に活用することを目的とした水害リスク指標とその算出方法について検討を行った。

本報告では、水害リスク評価指標の設定項目について述べ、その後、水害リスク評価指標毎の算出方法を説明

し、その算出方法に基づいた算出結果例の表示方法および結果表示例を順に述べる。

2. 水害リスクの評価指標

(1) 水害リスク評価の目的

水害リスク評価の目的は、効率的・効果的な治水施設整備手順検討の基礎的資料を得るとともに、一般の人々にも治水施設整備によるリスク低減効果をわかりやすく説明すること。また、現況等の段階における水害リスクを明示し、水害に強い土地利用等の減災のための施策誘導を図ることの二点である。

(2) 水害リスク評価指標

水害リスク評価の目的は、上述(1)に述べたとおりであるが、どのような指標を用いてその評価を行うかが一つのポイントになる。

本検討では、検討の目的及び既往の治水経済調査¹⁾で用いられている指標を参考として、表-1に示すような指標を用いることとした。なお、新たに追加した指標と評価指標の設定の考え方は、以下に示すとおりである。

また、追加指標の詳細は(3)、(4)、(5)で述べる。

治水事業の検討には、現況や治水施設整備後の水害

リスクを評価して、被害の実像を理解した上で、水害リスク低減効果を評価・確認の上、施策決定することが求められる。

表-1 水害リスク評価の目的と評価指標

	A. 治水施設等の効果の評価	B. 土地等の潜在的な脆弱性の評価
目的	治水施設や流域対策の具体的な仕様等を検討することを目的とする	土地利用のあり方と規制、建築規制のあり方と規制内容を検討することを目的とする
検討項目	①現況等の治水施設の安全度評価 ②効果的・効率的な治水施設の整備 ③施設整備の手順	①現況等の氾濫原の安全性評価 ②安全度・脆弱性に応じた土地利用 方策、建築規制、避難対策の検討
評価指標	・経済被害 ・人的被害 ・重要施設被害	・浸水深 ・流体力 ・氾濫到達時間

水害リスクの発生要因には、浸水深、流速、浸水到達時間等の地形的・水理的に地域が本来持つ脆弱性や、人口や資産・重要インフラの存在、土地利用状況等の社会的・経済的な要因による地域固有の脆弱性が存在する。

また、水害リスクは、治水施設の整備状況や気候変動に伴う降雨量の増加等（ハザード）による時間的な変化にも影響される。従って、水害リスク評価を活用して治水事業における施策を検討するに際しては、施策検討における活用目的やリスク発生に係る要因等を考慮し実施する必要がある。

本研究では、表-1に示す「A：治水施設等の効果を評価」、「B：土地等の潜在的な脆弱性を評価」の2種類の視点から水害リスク評価指標の設定を行うこととした。

次節では、新たに追加した評価指標である「A：治水施設等の効果」の人的被害、重要施設被害および「B：土地の潜在的な脆弱性評価」について述べる。

(3) 人的被害の評価指標

人的被害は、「治水経済調査マニュアル（案）¹⁾」p41においても、被害防止便益として項目は掲げられてはいるが、現時点では経済的・合理的に被害額を計測し貨幣価値化することが困難であり、具体的な評価手法が明示されていないため、代替の定量化評価法として「死者数」を人的被害の評価指標とした。

また、死者数は、治水施設等の効果、避難対策等のソフト対策の効果の両方を評価する際の指標として用いるものであるが、死者数以外の人口である孤立者数も、同じ効果を評価する際の指標として用いるものとする。

以上より、人的被害の評価指標としては、「死者数」を対象として取り扱い、避難対策等のソフト対策の検討においては、孤立者大量発生となり得る浸水状況（浸水継続時間）を勘案し、「孤立者数」も評価対象として検討を実施することとした。

(4) 重要施設被害の評価指標

重要施設被害についても人的被害と同様に「治水経済調査マニュアル（案）¹⁾」においても、被害防止便益として項目は掲げられてはいるが、現時点では経済的・合理的に被害額を計測し貨幣価値化することが困難であ

り、具体的な評価手法が明示されていない。このため、代替の定量化評価法として、重要施設被害は、表-2に示す施設を対象とし、当該施設が浸水し機能停止することにより、浸水区域外及び排水後においても生活へ波及する被害を評価することとした。

表-2 評価対象施設

評価項目	評価対象とする重要施設
①交通インフラ	鉄道〔軌道及び駅〕（JR、地下鉄、市電）、道路（幹線道路）
②ライフライン	電力（変電所）、上水道（浄水場）、下水道（汚水処理場）、ゴミ処理場
③その他重要施設	直接人命損傷に影響 ・・・地下空間（地下街） 避難や救助に影響 ・・・警察、消防、役所、病院、避難所

(5) B：土地の潜在的な脆弱性評価 のリスク評価指標

土地の潜在的な脆弱性の評価は、危機管理等のソフト対策としての、土地利用や建築に関する規制や避難対策のあり方や内容を検討するために実施するものである。危機管理等のソフト対策の仕様や実施対象域を検討するためには、流域内の個別箇所毎に下記の氾濫水に関する指標を用いることとした。

＜氾濫水の水利特性＞

- ① 水深、② 流体力（又は、流速・水深）
- ③ 氾濫水到達時間

3. 水害リスクの評価指標の算出方法

(1) 氾濫計算の条件設定

氾濫計算は、「河道伝播（川の流れ）計算」と「氾濫解析（氾濫の流れ）計算」の2つの計算手法を連動させて計算を実施する。ここでは、水害リスク評価のための氾濫計算の条件設定として留意すべき点を述べる。

a) 対象洪水の設定

洪水波形は、河川整備基本方針で対象としている基本高水全てを対象とすることとし、河道区間毎に計画高水流量を決定している波形を採用することとした。

また、水害リスクは、被害の大きさと発生の可能性を意味し、被害の大きさだけではなく、発生の可能性を考慮することが重要である。このため、確率規模については、対象とする洪水波形に対し、複数の確率規模を設定することとした。

b) 破堤点の設定、一連堤防区間の設定

本研究における水害リスク評価では、治水経済調査の実施目的と同じ「A：施設等の効果評価」だけでなく、「B：土地等の脆弱性評価」も実施することが目的となる。

被害額が最大となる地点を破堤地点として設定することは、治水事業による可能最大効果量（施設等の効果評価）を算定しているものであり、治水経済調査マニ

アル（案）と同じである。一方、「B：土地等の脆弱性評価」を実施するためには、氾濫ブロック別に破堤の可能性のある複数の破堤点を設定の上、破堤点毎に氾濫計算を実施して、個々の地先（計算格子毎）の最大被害を包絡評価する必要がある（計算格子毎の最大浸水深、最大流速等を把握・表示する）。このため、リスク評価における破堤点の設定では、図-1に示すように支川、山付き等の地形により堤防が区間に分断される1つの氾濫ブロックに対して、破堤現象やその可能性が同等と考えられる一連堤防区間分けを設定し、一連堤防区間毎に被害最大となる代表1点をもって破堤点とし、その破堤点毎に氾濫計算を実施することとした。

破堤点を定めるための一連堤防区間は、堤防の外形（完成、未完成）や、堤体の浸透破壊を考慮した堤体の土質性状による区分（砂質、砂礫、粘土、例：堤防概略点検結果の区分）、外力、水面勾配等の要因を勘案して、破堤現象や可能性、影響を考慮して定めることとした。

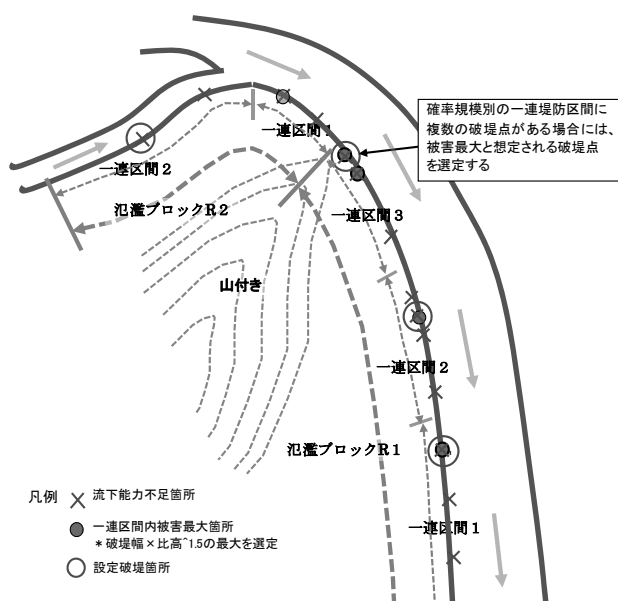


図-1 一連堤防区間と破堤地点の設定概念図

なお、破堤の可能性のある地点は、河川の流下能力が不足している箇所をもって破堤点候補とした。

流下能力不足箇所については、検討対象波形による確率規模別の不定流計算水位が堤防の安全水位以上（安全水位＝H.W.L（完成堤防の場合）or H.W.L-スライド・ダウン堤防高（暫定堤防の場合））になると破堤に至ると考え、水位をもって判定することとした。

また、河道水位の判定は、河道H-Q式を用いず、不定流計算水位をそのまま用いることとした。これは、同じ流量でも河口水位やハイドロ形状等の条件によって河道水位は異なるが、河道H-Q式は流量と1対1の関係にあるため、これを表現できないこと、並びに、適応策検討において、基本方針の本支川の流量配分等と異なることも想定され、これによる水位変化も河道H-Q式では十分に表現できないためである。

(2) 水害リスクの計算手法

a) 経済被害の評価手法

経済被害の評価は、「治水経済調査マニュアル（案）」¹⁾に従い実施することとした。

b) 人的被害の評価手法

人的被害の評価は、洪水氾濫による死者数並びに孤立者数を算定する。

死者数並びに孤立者数の算定は、図-2の人的被害の算定フローに示すように、＜降雨～流出～氾濫～浸水＞までの現象の発生時間スケールと、避難行動の関係を整理して、洪水予測技術の向上に伴う避難猶予時間の確保や防災意識の向上に伴う避難率の向上など、避難に関するソフト対策の効果が反映できるような評価手法とした。

死者数の発生は、事前避難（氾濫前の避難完了の有無）、氾濫現象（避難途中や外出時における浸水深や流速（流体力）、在宅や孤立状況下での浸水深や流体力（建物の安全性）、猶予時間（避難に要する時間と避難完了までの猶予時間の関係）等の要因に左右されることが考えられる。

これに基づき、死者数の推定は、「事前避難（氾濫開始（破堤）前）」と「事後避難（氾濫開始（破堤）後）」、「在宅等における浸水」の3つの場合分けを設定し評価することとした。

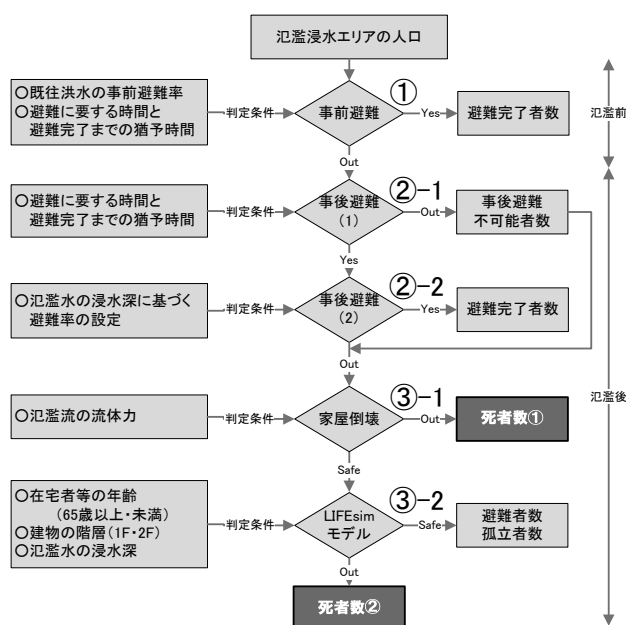


図-2 人的被害（死者数、孤立者数）の算定フロー

①事前避難（氾濫開始（破堤）前）

事前避難（氾濫開始（破堤）前）は、氾濫開始前の避難による避難完了者数を算定するものである。避難率は、既往洪水の事前避難率を参考に、避難に要する時間と避難完了までに要する猶予時間を洪水の流出特性との関係から地先毎に整理を行い設定する。

②事後避難（氾濫開始（破堤）後）

事後避難（氾濫開始（破堤）後）は、事後避難が完了

せず氾濫の危険性の高い地域の人口を算出することを目的に、事前避難と同様に、氾濫現象や避難猶予時間を考慮して避難完了者数を算定するものである。

事後避難完了者数を算定するための事後避難率の設定は、②-1) 事後避難に要する時間と事後避難完了までの猶予時間との関係より、事後避難の可能性のある人口を算出し、②-2) 事後避難の可能性のある人口に対して、水深と避難率の関係²⁾より、氾濫解析の格子単位で避難率を設定する。

③在宅等における浸水（氾濫開始(破堤)後）

在宅等における浸水（氾濫開始(破堤)後）は、③-1)「流体力による評価」と③-2)「浸水深や高齢者、建物の階層による評価」による2段階で、各々死者数を算定するものである。

「流体力による評価」は、氾濫水の流体力と家屋倒壊との関係より、家屋倒壊した場合の在宅者の死者数を算定するものである。

「浸水深や高齢者、建物の階層による致死率評価」は、米国陸軍工兵隊が人命損失を予測するために開発した「LIFE-Sim」モデルを活用して算定するものである。

c) 重要施設被害の評価手法

重要施設被害については、施設が浸水し、機能停止することにより、浸水区域外及び排水後においても生活へ波及する被害を評価することとした。

重要施設被害の定量化には、表-3に示す治水経済調査マニュアル（案）¹⁾の『営業停止損失の算定』（p57）における営業停止・停滞日数を活用し、被害影響指数として定量化を行うこととした。

表-3 営業停止損失の算定

営業停止損失 $Di = Mi \times (n0+n1/2) \times pi$ $n0, n1$: それぞれ浸水深に応じた営業の停止日数 ($n0$) : 停滞日数 ($n1$) i : 産業大分類, M : 従業者数, p : 付加価値額
--

以下に、交通インフラ、ライフライン、役所等、各重要施設の被害影響指数の算出式例を表-4に示す。

表-4 各重要施設の被害影響指数算出式例

①交通インフラ（JR、地下鉄、市電、幹線道路）：駅舎、路線 …機能不全により影響を受ける延べ利用者数浸水延長を評価 $R [日・人/日・m]$ $= (n0+n1/2) \times \text{利用者数 (乗降者数、交通量)} / 日 \times \text{浸水路線延長}$
②ライフライン（電気、上水、下水、ゴミ処理施設等）：拠点施設 …機能不全により影響を受ける延べ利用者数を評価 $R [日・人] = (n0+n1/2) \times \text{需要人口} \times \text{箇所数}$
③警察、消防、役所 …機能不全になる単位所管面積当たりの延べ職員数を評価 $R [日・人/ (人/km^2)]$ $= (n0+n1/2) \times \text{浸水施設毎の値 (職員数/管轄エリア人口密度 (人/km^2)) の和}$

4. 水害リスクの算出結果例と表示方法

(1) 水害リスク結果の表示目的と表示方法

水害リスク結果の表示目的である効率的・効果的な治水施設整備手順検討の基礎的資料を得ることや、一般

の人々にも治水施設整備によるリスク低減効果をわかりやすく説明することを考慮した、水害リスク結果の活用目的と表示方法についての一例を表-5に示した。

表-5の活用目的は、浸水深の空間把握や整備前後の浸水深の変化状況把握、現状におけるリスクの空間把握および治水施設・ソフト対策等の効果発現の空間把握、施設整備や外力の変化に対するリスクの増減、一連堤防区間別の整備の優先順位、氾濫ブロック別の施策の検討等に活用すべく設定したものである。

これら活用目的別の表示単位として、浸水深には、その計算格子の最大値を把握する必要から、最大浸水深を用い、経済被害には、被害の大きさと発生の可能性を現す目的から期待値を採用し、人的被害に関しては、人命は被害箇所の最大値を把握する必要があることから最大被害の生値を採用することとした。

表-5 リスク結果の活用目的と表示方法、ランク分け例一覧表

種 別	対象リスク	活 用 目 的	表 示	ランク分け
最大浸水深包絡図	浸水深	・ 氾濫形態の特徴、破堤点と氾濫水の浸水区域、浸水深の空間分布を把握、整備前後の変化状況	計算格子毎に最大となる浸水深を表示	「治水経済調査マニュアル（案）」のとり浸水深別ランク
計算格子単位の水害リスクマップ	経済被害 人的被害	・ 破堤点と水害リスク（経済被害、人的被害）の発生区域、発生規模の空間分布を把握 ・ 治水施設対策、ソフト対策の検討材料	年平均期待値 最大被害の生値	標準偏差 σ によるランク分け 10万人当たりの死者数（他のリスクとの比較）によるランク分け
一連堤防区間単位の水害リスクマップ	経済被害 人的被害	・ 一連堤防区間の間での相対比較 ・ 一連堤防区間の堤防整備優先度を評価 ・ 一連堤防区間近傍のソフト（避難）対策の整備優先度を評価	年平均期待値 最大被害の生値	標準偏差 σ によるランク分け 10万人当たりの死者数（他のリスクとの比較）によるランク分け
整備前後の水害リスク変化率マップ	経済被害 人的被害	・ 施設整備による水害リスク増減率を整理し、被害軽減を図るための方策検討の一助とする。	変化率を表示	最大倍率に対して5分割程度で表示
氾濫ブロック単位における確率規模別のリスク変化グラフ	経済被害 人的被害	・ 氾濫ブロック別、浸水区域別（水害のリスク発生区域別）に方策のあり方検討。	年平均期待値 最大被害の生値	最大影響指数でグラフ・スケールを統一 最大影響指数でグラフ・スケールを統一
重要施設被害変化グラフ	重要施設被害	・ 重要施設毎に被害軽減方策を検討	最大被害の生値	最大影響指数でグラフ・スケールを統一

また、表-5の「ランク分け」列は、その評価値をそのまま表示する生値だけでは、具体的なイメージがつかみにくく、一般の人々へ説明し難い場合があることや、当該地先の資産や人口の集積度によってもリスク数値の示す重みは異なることから設定したものである。標準偏差 σ を用いたランク分けは、氾濫ブロック間の相対比較や施設整備前後の効果の発現程度の把握を容易にすることを目的とし、被害の総数を母集団とした平均値及び標準偏差 σ を用いたランク分けである。人口10万人当たり死者数は、喫煙や飛行機事故など他のリスクとの比較を目的としたランク分けである。グラフによる表示については、氾濫ブロック内の各指標について相対評価を行うため最大影響指数でグラフ・スケールを統一したものである。

(2) A川の適用例

前述までの水害リスクの評価指標および算出方法に基づき、水害リスクを算出した結果例を示す。

a) 施設整備の優先順位の検討例

A川流域について、気候変化に伴う外力増強による、氾濫ブロックの施設整備優先順位の検討例を示す。

図-3は、気候変化後の一般資産被害を示し、図-4に気候変化後の人的被害を示す。図-5には、経済・人的被害について、各評価指標の現況最大値を基準に、現況と気候変化後の伸び率をブロック別にグラフ化したものを示す。

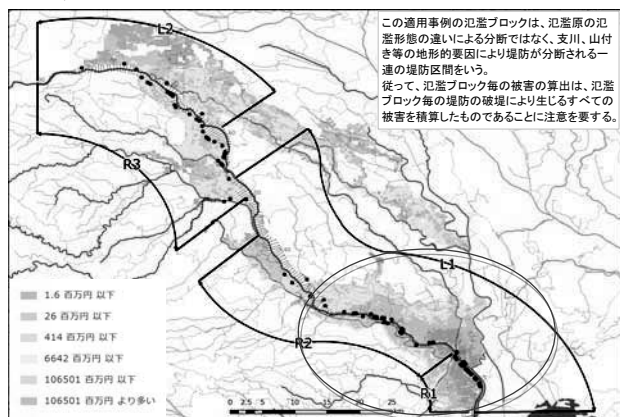


図-3 気候変化後の一般資産被害

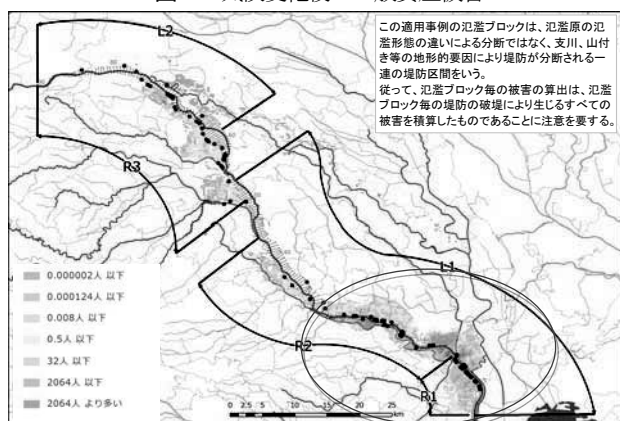


図-4 気候変化後の人的被害（死者数）

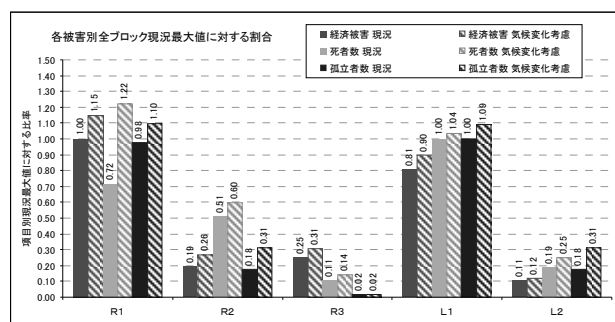


図-5 気候変化前後の氾濫ブロック別・指標別のリスクグラフ

図-3, 4のリスクマップによれば、A川流域で資産、人口、インフラの集中するL1, R1, R2 氾濫ブロックにおいて、経済・人的被害とも被害の大部分を占め、下流部の整備優先順位が高いことを示している。

また、図-5で下流部を詳細にみると、経済被害について、現況での被害の大きい順位はR1, L1, R3 氾濫ブロックの順であり、これは気候変化後も同順である。

一方、人的被害については、現況での被害の大きい

順位はL1, R1, R2 氾濫ブロックであり、気候変化後はR1, L1, R2 氾濫ブロックの順となっている。

この流域の場合は、経済被害と人的被害の発現する氾濫ブロックは異なり、人的被害では、気候変化前後で被害最大となる氾濫ブロックが異なっていることがわかる。

さらに、L1, R1 氾濫ブロックは、現況・気候変化後について経済・人的被害とも、ほぼ同レベルの被害を呈しており、気候変化後の伸び率最大は、経済・人的被害ともR1 氾濫ブロックで出現している。

この結果より、気候変化前後とも被害が大きいのは、L1, R1 氾濫ブロックであり、気候変化に伴う影響はR1 氾濫ブロックが最も大きいことから、この流域については、L1, R1 氾濫ブロックを施設整備の優先順位の最初とし、気候変化への適応策としてはR1 氾濫ブロックから検討する必要があることがわかる。

このように、リスク評価は、施設整備の優先順位の検討に有効であることが確認できた。

b) ソフト対策の効果表示例

図-6, 7, 8は、ソフト対策により事前避難率が向上した場合の人的被害（死者数）の結果である。

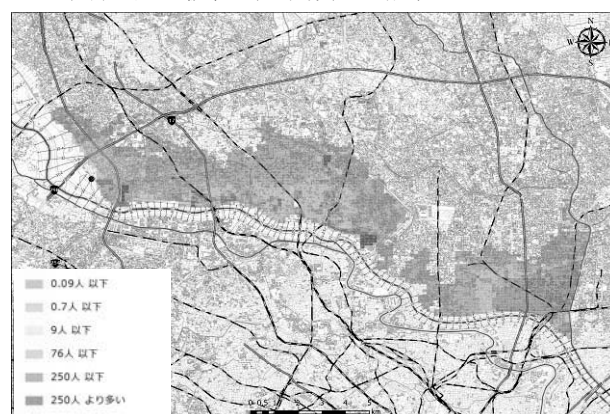


図-6 現況洪水リスクマップ（10万人あたりの死者数）

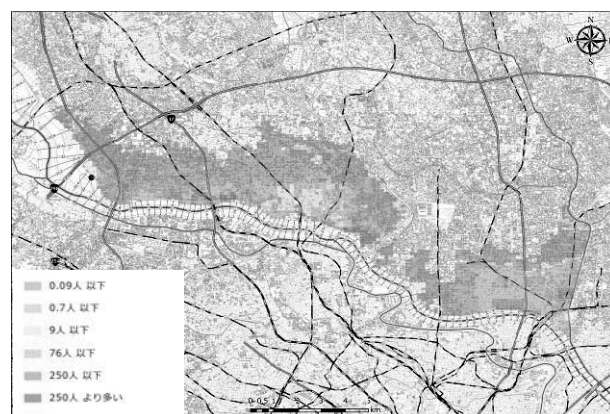


図-7 ソフト対策（避難率向上）後の洪水リスクマップ（10万人あたりの死者数）

人的被害の算出には、洪水予測技術の向上に伴う避難猶予時間の確保や防災意識の向上に伴う避難率の向上など、避難に関するソフト対策の効果が反映可能であり、

この例ではこれらの要素を考慮して事前避難率を向上させたものである。

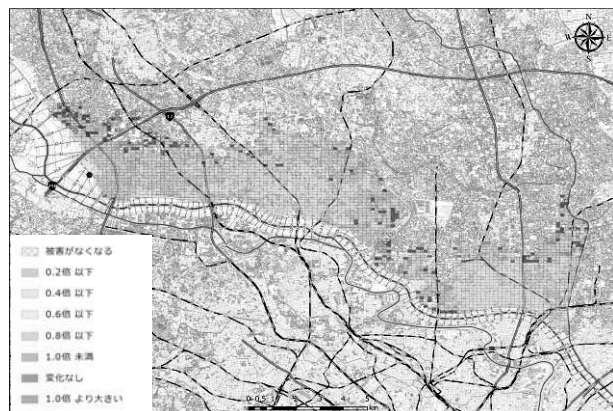


図-8 ソフト対策前後の人的被害（死者数）変化率マップ

図-8の変化率のマップによれば、対策前後で被害発生の有無に関して計算格子に大きな差は無いが、ほとんどの計算格子で人的被害（死者数）は、対策前に対して0.4～0.6倍に低減している。

次に対策後の図-7のマップによれば、対策前に250人以上の死者数が発生した箇所が消滅するなど、全計算格子において死者数が低減したことがわかる。なお、10万人あたりの年間死亡者の要因⁴⁾では、この250人以上の死者数は、ガンによる死亡に相当する。

このように、本研究による水害リスク手法は、ソフト対策による効果の把握や住民説明のリスクコミュニケーションツールとしても有効であると考ええる。

5. まとめ

本研究では、水害リスクの評価指標とその算出方法、および算出結果の表示方法について検討を行った。この結果、治水施設や流域対策の整備手順の効果把握および効果説明等に有効であることが示されたが、以下に示すいくつかの課題も浮き彫りとなった。

今後は、これらの課題を解決しつつ、水害リスク評価を実施することが重要である。

a) 内水被害も含めた水害リスクの評価

実現象においては、外水氾濫が生じた時には、既に小河川の氾濫や内水氾濫が発生しており、避難できない状況となっている場合もある。そのような場合には、避難率は低くなり人的被害も増大することとなる。

このような実態に則した水害リスク評価を実施するには、内外水の氾濫解析を実施できるようなモデルの構築や、内水氾濫も想定した避難シナリオに基づく事前避難率の設定方法の構築など、水害リスク評価に必要な技術開発が今後の技術課題となる。

b) 床下浸水深の評価

氾濫計算上は1cmから浸水深を提示することができる。しかし、被害現象の実態としては、浸水深1cmは通常降雨でも路上の起伏で普通に湛水する規模であり、

床下被害の浸水深の対象下限値としては不適切である。

「内水ハザードマップ作成の手引き（案）³⁾」においては、概ね歩道が冠水し始める水位として浸水深20cmが示されており、自動車のマフラーや長靴の高さ、縁石の高さなどを考慮すれば、浸水深20cm程度までの床下浸水は無被害と捉えるべきと考える。

治水経済調査マニュアル¹⁾の改訂とも関連するが、水害リスク評価においても、床下浸水の被害を評価するに際しての下限値の設定について、今後、検討する必要がある。

c) リスクマップの表記単位

本研究におけるリスクマップの表記単位については、流域の被害平均を中心とした大小表記により、氾濫ブロック間の相対比較や施設整備前後の効果の発現程度の把握を容易にすることを目的に、被害の総数を母集団とした平均値及び標準偏差 σ を用いた5ランク程度の表記単位を検討した。

その他、当該地策の資産や人口の集積度によってもリスク数値の示す重みは異なることから、生値を用いて示すマップ作成のほか、資産密度当り、人口密度当り、人口10万人当たり（喫煙や飛行機事故など他のリスクとの比較）など、原単位を揃える表記も検討した。

これらの表記単位について、使い勝手や情報の受け手側の理解度を検証の上、利用目的に応じた表記単位の工夫や使い分けの仕方の整理が今後の課題となる。

e) 人的被害算定にあたっての課題

人的被害（死者数、孤立者数）の算定にあたっては、事前避難率、事後避難率を避難猶予時間や破堤後の氾濫流到達時間を考慮して設定している。また、避難率の上限は、事前、事後とも既往の災害での避難率の平均値としている。

限られた洪水実績データから避難率の上限や、避難猶予時間や氾濫流到達時間の設定を実施しており、各河川流域の避難特性を反映したものとはなっていない。避難の実態に関する研究の進展と流域の実情に照らし合わせた適切な避難率の設定手法の開発・研究が今後の課題である。

参考文献

- 1) 「治水経済調査マニュアル（案）」（平成17年4月、国土交通省河川局）。
- 2) 吉本俊裕、笛田俊治、須見徹太郎：氾濫特性の異なる流域での避難行動、水工学論文集、第37巻、pp. 233-238、1993。
- 3) 「内水ハザードマップ作成の手引き（案）」（平成21年3月、国土交通省都市・地域整備局下水道部）
- 4) 中谷内一也：リスクのモノサシ、pp. 140、日本放送出版協会、2006。

(2011. 5. 19受付)