

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者		氏名 (ふりがな)	所属	役職	
		巖島 怜 (いつくしま れい)		東京工業大学	助教
②技術研究 開発テーマ	名称	久慈川を対象とした過去の治水システムが超過洪水時の氾濫被害に及ぼす影響に関する研究			
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。		平成30年度	平成31年度	令和2年度	総合計
		203万円	157万円	139万円	499万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏名		所属機関・役職 (※令和3年3月31日現在)			
大槻 順朗		国立大学法人 山梨大学 助教			
佐藤 辰郎		九州大学 特任准教授			
⑤研究の目的・目標 (様式地河-1、地河-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
(背景・課題) 計画規模を上回る洪水は頻発しており、その対応は喫緊の課題である。2016年の気候変動適応策に関する社会資本整備審議会の答申では、流域の対策として、氾濫の拡大を抑制する機能を有している自然堤防や連続盛土の保全、土地利用状況を考慮した治水対策及び災害リスクの低い地域への居住や都市機能の誘導について提言されている。一方、水害から身を守るため、堤内地では、歴史的に様々な洪水対策のための構造物や伝統知が存在し、治水システムが構築されている。研究対象である久慈川流域では、 <u>霞堤群や堤内地における氾濫流制御のための施設が設置され一部は現存している</u> 。これらの構造物は、氾濫被害軽減の観点から重要であるが、その効果が検証されておらず、 <u>圃場整備や開発によって撤去されているものも多く、計画的な保全がなされていない</u> 。					
(目的) 本研究は、 <u>超過洪水による外水氾濫に対する浸水リスクの低減や氾濫流のコントロールを目的とし、過去に構築された治水システム (霞堤群や地先防御のための構造物、自然微地形を踏まえた居住形態)の解明とそれらが浸水プロセスに及ぼす影響を明らかにし、効果的な活用方法や保全の方策について検討する</u> 。					
(調査・研究内容及び成果) 過去の治水システムが大規模水害時の浸水リスクに及ぼす影響を定量的に評価するため、氾濫計算を行う。初年度に久慈川流域の <u>土地開発史及び過去の治水システム</u> を文献及び現地調査により明らかにし、2年度に過去の治水システムの有無、河川改修レベルによる6シナリオの氾濫モデルの構築を行う。最終年度に広域スケール及び地域スケールを対象に、過去の治水システムが氾濫被害に及ぼす影響を、浸水プロセス及び経済損失の観点から定量的に示し、過去の治水システムの計画的な保全策を検討する。					
(研究成果の河川整備・管理への反映) 過去の治水システムが浸水リスクに及ぼす影響を定量的に示すことで、 <u>気候変動適応策としての過去の治水システムの活用方策や評価方法の構築が可能となる</u> 。また、本研究の成果は、 <u>堤内地を含めた流域全体での治水対策を検討するための基礎的な資料として活用できる</u> 。					

⑥研究成果

(1) 二次元氾濫流計算による氾濫形態の経年変化

(1-1) 計算方法

(1-1-1) モデルの概要

久慈川における不連続堤防の存在や改築，連続堤防整備が堤内地の氾濫挙動に及ぼす影響を河道だけではなく堤内地の氾濫特性を含めて評価するため，2次元流動シミュレーションを実施した．ここでは，台風19号による洪水を対象にモデルのキャリブレーションを行うが，実際に生じた現象の精緻な再現を目的とするのではなく，不連続堤防の存在および連続堤防整備による影響を感度分析的に比較検討することに主眼をおく．シミュレーションには，iRICソフトウェアに含まれる解析ソルバNays2DHを用いた．このソルバは，2次元浅水流方程式に基づいた一般座標系格子での解析が可能なものであり，多くの現場適用事例がある．解析対象範囲は，河口から31k付近の辰ノ口堰下流から，河口から11.5kの額田観測所までとした．この範囲は，台風19号による氾濫による主な浸水域が含まれる．マニングの粗度係数については，河道部で0.03，氾濫原で0.04を与えた．また，水害防備林を含めた河道内の樹木による抵抗は抗力として考慮した．現地調査による密度，直径を計算条件として与えている．計算格子は一般座標系による可変の構造格子である．サイズは河道内と氾濫原でそれぞれ10*5mおよび30*10m程度である．

(1-1-2) 流量条件

流量境界条件は，久慈川からの流量のみを与え，支川からの流入は考慮しなかった．考慮した流量ハイドログラフは，4つの流量規模を設定した．対象とした流量は，可能最大降雨相当の流量規模（山方観測所におけるピーク流量： $Q_{max}=15,000\text{ m}^3/\text{s}$ ）、可能最大降雨の半分相当の流量規模（ $Q_{max}=7,500\text{ m}^3/\text{s}$ ）、2019年台風19号出水時の流量（ $Q_{max}=2,500\text{ m}^3/\text{s}$ ）、及び1999年7月出水時の流量（ $2,500\text{ m}^3/\text{s}$ ）である．本報告書では，台風19号出水時の流量及び可能最大降雨を対象とした結果について詳述する．

(1-1-2) 地形条件

シミュレーションモデルに入力する地形データについては，年代別の堤防の存在状況を地形データとして表現するため，以下の手順に従って作成した．まず，ベースとなる現況の地形データを，国土地理院から提供されるDEMデータ（航空レーザ測量に基づく．当該地域では2016/10/1作成）と，定期横断測量成果（2013年）を縦断方向に補間して作成した地形データとを重ね合わせ，ここから，霞堤部や堤防未整備部を部分的に消去することで作成した．次に，同じく国土地理院から提供される4時期の航空写真（2019年，1975年，1960年，1948年）を用いて，年代間でどこに堤防が構築されたかを整理した．次に，それらの空間的な差分のデータに基づいて，地形データから過去にさかのぼって堤防がない部分のデータを削除した．すなわち，まず1975年と現在を比較し，1975年に堤防のない部分のデータをベースとなる現在の地形データから削除し，以下，年代ごとに比較しながら繰り返した（図-1）．したがって，この年代別の地形データは，戦後に新しく構築された連続堤防の有無や現況における氾濫原の起伏は表現されているが，氾濫原における地形の変状は表現できていない．最終的には，4時期の地形データと比較用に河道部だけを抽出した地形データの5つを解析に用いた．

このシミュレーションにおいては，格子を構成する4つの格子点での標高値の平均値が格子における標高値として用いられる．そのため，格子のサイズに対して著しく幅の狭い霞堤などの線形的な地形の高まりについては，DEMデータをそのまま使うと効果が計算に反映されない．格子の高さとしてこれらの高さが反映されるようデータの調整を施した．具体的には，DEMから読み取れる線上地形の位置をポリラインとして抽出し，それとオーバーラップする格子の高さについては，格子の範囲に含まれる地形高の最大値を与える操作を行った．

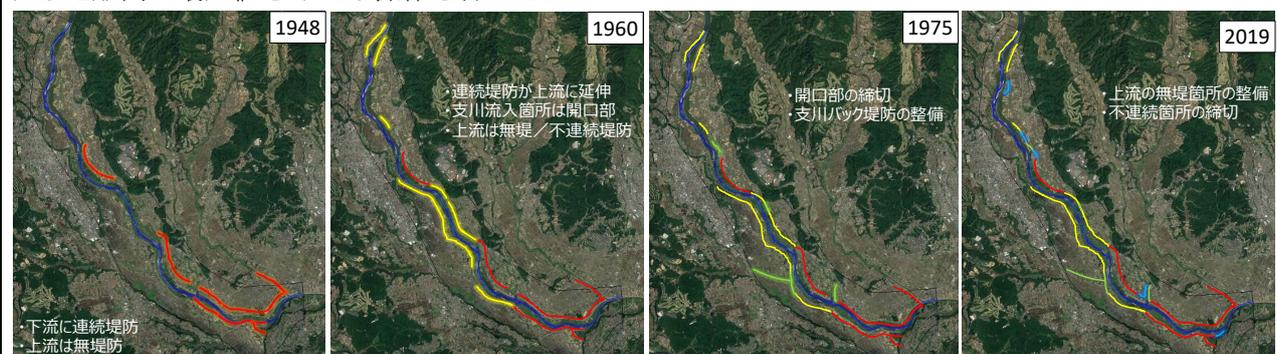


図-1 各年代の堤防整備状況

(1-2) 計算結果及び考察

(1-2-1) 2019 年台風 19 号の実績流量を対象とした氾濫計算結

図-2 に 4 時期の地形データでの水理シミュレーション結果を列記する。この図では、a) 1948 年、b) 1975 年、c) 2019 年の地形条件に対する計算結果を i)~iv) の 4 つの洪水の段階別に示している。まず c) 2019 年の地形条件での氾濫計算結果から、今次災害の基本的な氾濫特性を確認する。河川水位の上昇とともに左岸 (A: 塩原, B: 富岡地区) に存在する霞堤の開口部から氾濫が開始される。そして、氾濫流は南に流下し、新堤防と丘陵部が近接する不動下地区付近で浸水深が大きくなる。この場所は、丘陵部と接続した旧堤防が残存しており、それが氾濫流の流下を遮った。その後、旧堤防を越流しさらに流れ下り、松栄地区に達すると、支川浅川の堤防によって再度氾濫流が阻まれ行き場を失い、3m を超える大水深が生じている。解析された浸水範囲は台風 19 号による氾濫被害範囲と概ね一致している。

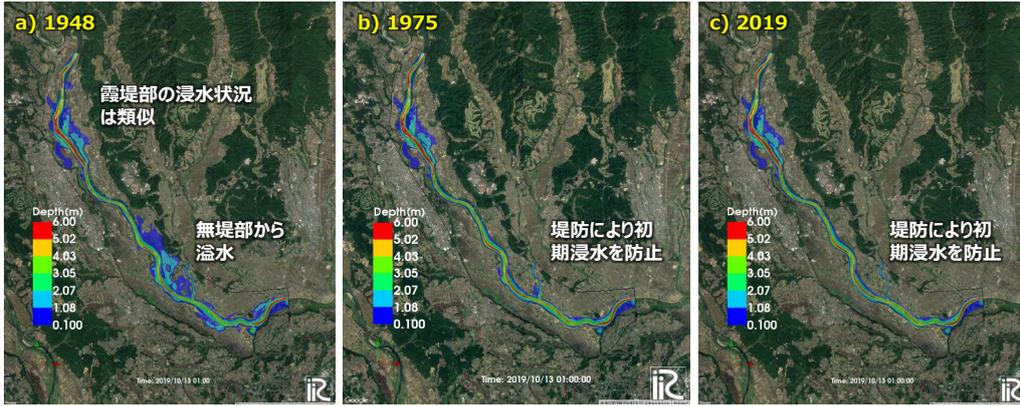
洪水の段階別に、地形条件間の比較を行う。まず i) 洪水増水期の状況を見ると、3 つの地形条件すべてで A: 塩原地区、B: 富岡地区周辺の霞堤開口部から堤内地への氾濫が生じるが、a) 1948 年の地形条件のケースでのみ、より下流の D: 新地町、E: 松栄地区の堤防のない箇所からも浸水が開始される。ii) の流量ピーク時になると、a) 1948 年の条件では、堤防の左岸および右岸から越水し、氾濫原の多くの部分で浸水が発生しているが、b) c) の 1975 年および 2019 年の地形条件では、浸水の拡大は堤防により大幅に抑制されている。また、b) の 1975 では、松栄地区に堤防の不連続部が存在するが、堤内地への浸水は限定的である。iii) の最大浸水時においては、それぞれの地形条件で浸水が拡大していくが、b) 、c) を比較すると、E: 松栄地区の浸水深に大きな差が生じている。iv) 減水期となると、a) 、b) については、堤防の不連続部から氾濫水が排水され、浸水深が低下するが、c) 2019 年のケースでは、E: 松栄地区などで氾濫流が排水されず浸水が長期化している。

これらの結果を地形条件別に浸水範囲と浸水挙動の観点から比較する。図-3 は、地形条件別に計算メッシュごとに最大浸水深を算定し、水深の閾値ごと (0.1, 0.45, 2.0m) に整理したものである。この閾値は、床下浸水、床上浸水、家屋半壊 (被害率 50%以上) にそれぞれ対応する。これを見ると、堤防の割合が高い (新しい) 地形条件であるほど浸水範囲 (0.1m 以上) が小さくなっていることが分かる。この中身を見ると、浸水深 0.45 以上 2.0m 以下の床上浸水に該当する領域が 1948 年で 26%、2019 年で 14% と大きな差が生じている。一方、2m 以上の大規模浸水の割合で見ると、28%→24% となりそれほど大きな差がなく、1975 年と 2019 年とを比較すると、むしろ 1975 年のほうが僅かに高い。このことから、堤防の整備は浸水域の減少に大きな効果があることが明確である一方、大規模浸水範囲の縮小には必ずしも寄与するとは限らないことが示唆される。

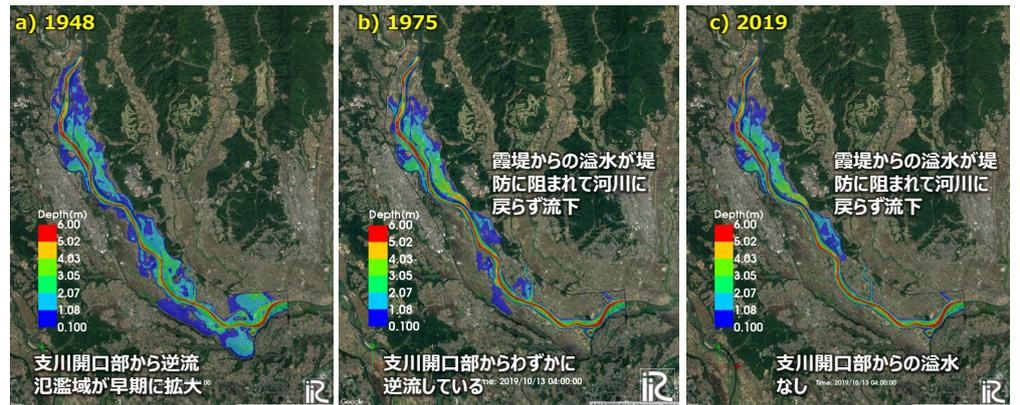
図-4 は 2019 年出水を対象とした氾濫計算において、久慈川左岸の代表的な 5 つの集落 (上流より、塩原、富岡、不動下、新地町及び松栄町) を抽出し、地形条件別に水深の時系列変化を示したものである。これを見ると、a) 1948 年の地形条件での結果では、地点間で浸水深や挙動に大きな差がないのに対し、b) 1975 年、c) 2019 年の条件では、地点間の差が大きいことが分かる。特に、堤防による堰上げの影響を受けている不動下、新地町及び松栄町地区では、2019 年では高い浸水深を示し、その増加率もおおよそ 2~3.5 m/hr と非常に高い。氾濫が発生する時間を見ると、a) 1948 年条件では、計算開始から 4-7 時間ほどに集中しているが、堤防の構築の影響を受けて遅くなっていることが分かる。新地町及び松栄町地区に注目すると、浅川合流点付近に不連続部が残る b) 1975 年の条件でも 2,3 時間遅くなっており、開口部の有無よりも氾濫域の上流部での築堤が浸水開始時間により大きな影響を与えることが示唆される。

堤内地への氾濫が下流域へもたらす影響について確認する。図-5 は下流部における河道断面流量の計算値を表したものである。上流端の入力流量と河道部のみを計算対象としたケース (2019R) を比較のためあわせて示す。4 つの地形条件でピーク流量の低減とピークの遅れが生じた。流量ピーク低減量は、1948、1975、2019 および 2019R でそれぞれ、759、485、539、178m³/sec となり、堤防整備が進んでいない 1948 年のケースで最も大きい結果となった。ここで、河道での洪水波拡散や河道貯留の効果が 2019R のケースの結果に現れているとすると、2019R の結果からの差分が河道外への氾濫によって生じるピーク低減量となる。この量はおよそ 300~580m³/sec であり、流入流量に対する割合は、9~17% である。1975 年と 2019 年の地形条件の結果を比較すると、2019 年のケースのほうが堤防整備割合が大きいのに、ピーク流量低減量が大きくなっている。図-5 のハイドログラフを見ると、2019 年の結果だけはピーク付近で歪んでいることから、河道外へ流出した氾濫流が堤防に捕捉され河道に戻らなかったことが結果に反映されていると考えられる。

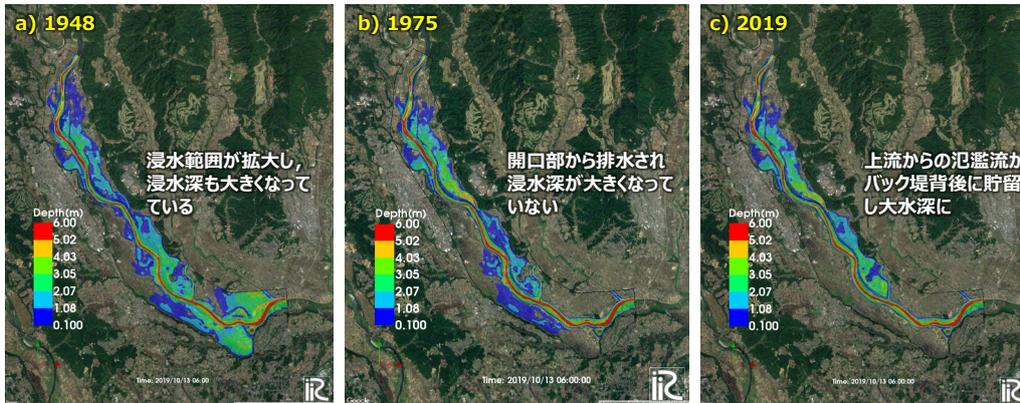
(i) 浸水初期



(ii) 流量ピーク時



(iii) 最大浸水時



(iv) 減水期

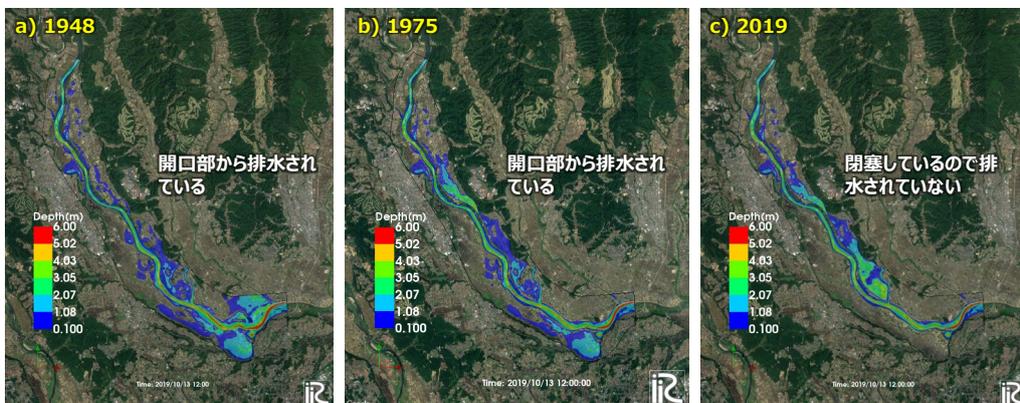


図-2 台風19号の実績流量を対象とした氾濫計算結果

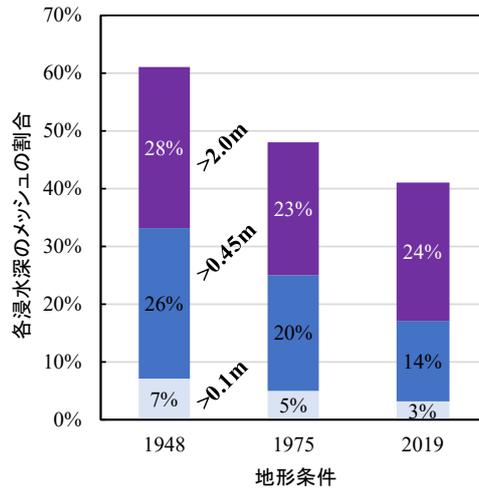


図-3 メッシュ内の最大浸水深と地形条件

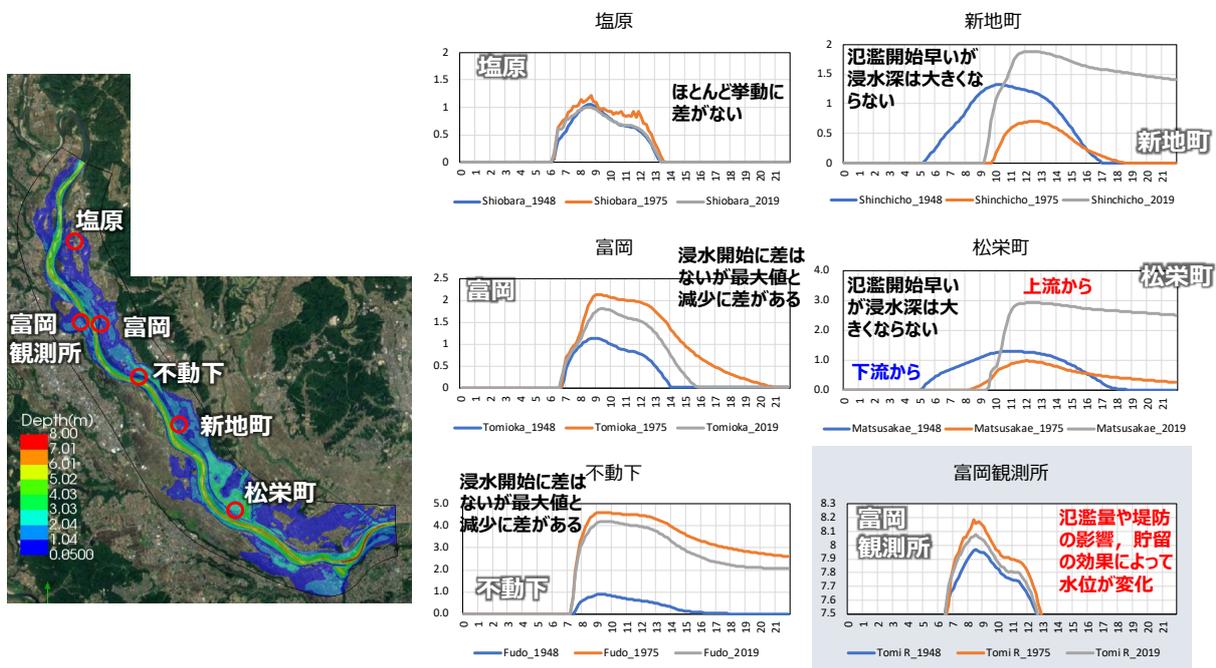


図-4 台風 19 号の実績流量を対象とした氾濫計算結果

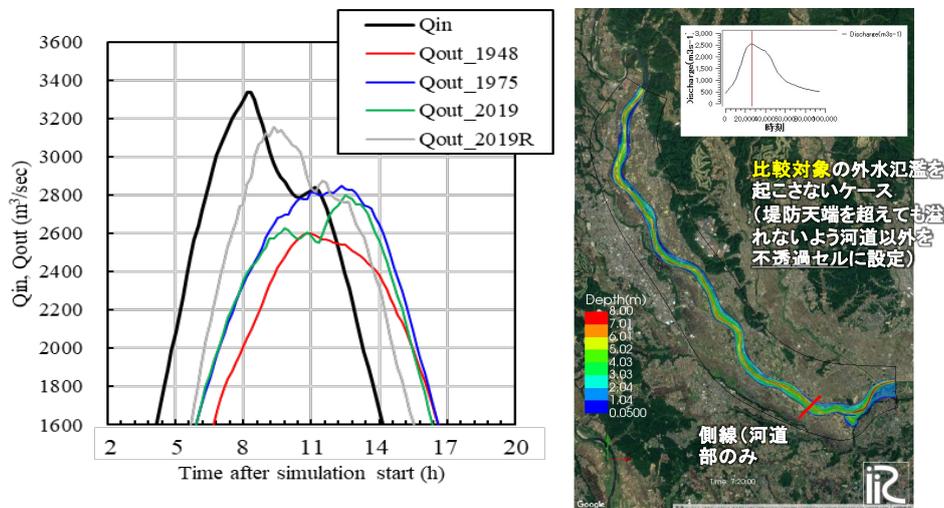


図-5 地形条件の違いが下流河道内流量に及ぼす影響

(1-2-2) 可能最大降雨相当の流量を対象とした氾濫計算結果

図-6 に、可能最大降雨を対象とした氾濫計算結果を示す。氾濫の初期においては、各年代とも無堤部の上流から氾濫が開始しており、霞堤付近の浸水状況は年代間で大きな差異はみられない。一方、中流及び下流部では、連続堤防が整備されている 2019 年では、氾濫が抑制されているのに対し、1948 年及び 1975 年では比較的早い段階で氾濫が始まっている。また、氾濫の程度は、1948 年出水で大きく、左岸中流の無堤部で面的に氾濫が生じている（図-6 i）。流量が最大に到達した時刻では、各年代とも浸水が面的に広がっており、氾濫計算領域の大部分が浸水する結果となった。しかし、下流部では年代間で氾濫範囲に差異が確認された。1948 年には左岸側の山田川合流点から浅川合流点の間の氾濫原がすべて浸水しているのに対し、1975 年では、浅川合流点より下流側では浸水が発生していない。これは、1975 年では、浅川合流点付近に開口部が残っているため、支川開口部から氾濫流が戻ること、下流側の浸水が生じなかったものと考えられる。一方、2019 年では、開口部が閉じられ、連続堤防が整備されているため、氾濫流が久慈川本川に戻ることができず、下流側へ氾濫流が伝搬していることがわかる（図-6 ii）。水位がピークに達する時刻になると、氾濫は更に進展し、流域内のほとんどが浸水し、年代間の差異がみられなくなる。下流部での最大浸水深は極めて大きく、7m 超過するエリアもみられる（図-6 iii）。また、水位低減時の氾濫域には大きな差がみられた。1948 年の地形では、無堤防や支川合流点で開口部が多くみられるため、他の年代と異なり、速やかに排水が進み、浸水深が大きいエリアはみられなかった。一方で、堤防整備が進んだ 1975 年及び 2019 年では、山田川合流点付近など下流側で浸水が解消されない結果となった。また、2019 年では、左岸側の浅川合流点付近及び右岸側の玉川合流点付近で浸水が解消されない領域がみられた。1948 年地形の浸水深の結果は、2019 年台風 19 号出水の結果と大きな差異はみられず、流入流量に影響されない排水システムとなっていることが伺える（図-6 iv）。

図-7 は可能最大降雨を対象とした久慈川左岸の氾濫域内において代表的な 5 つの集落（上流より、塩原、富岡、不動下、新地町及び松栄町）を抽出し、地形条件別に水深の時系列変化を示したものである。2019 年出水とは異なり、多くの地域で浸水深のピーク値の年代間の差異が小さく、氾濫の場所ごとの差が小さくなっていることがわかる（図-2）。一方で、不動下地区では、1948 年とそれ以外の年代で浸水深の増加のスピードが異なり、1975 年及び 2019 年では水深が急激増大する結果となった。また、不動下より下流側に位置する新地町や松栄町では、2019 年の地形で排水が長期化する結果となった。

(2) 氾濫計算結果に基づく経済被害の算定結果

(2-1) 方法

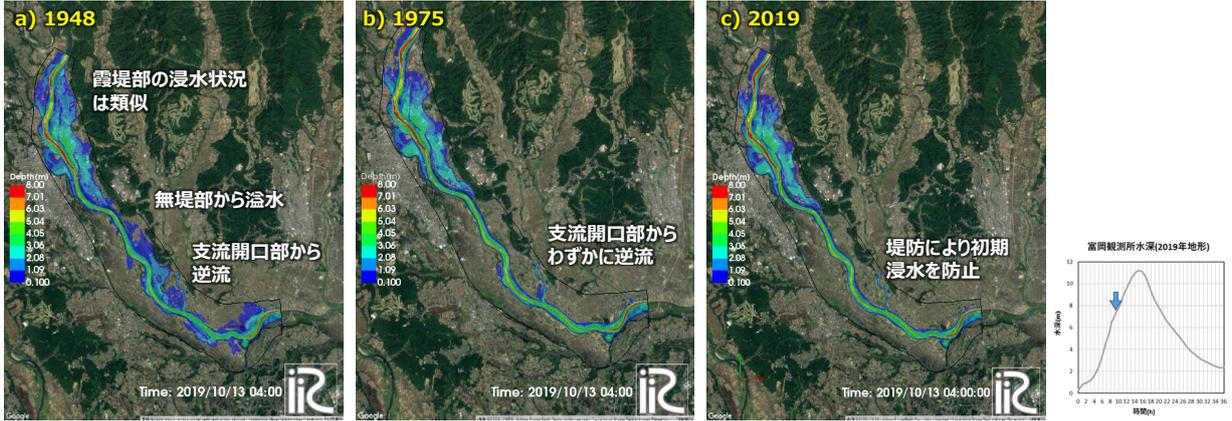
氾濫計算結果を基に、堤防整備や不連続堤防の消失が経済被害に及ぼす影響を明らかにするため、治水経済調査マニュアルの被害額算定方法を元に洪水の被害額を算出した。計算項目は治水経済マニュアルで直接被害に区分されている資産の被害額（①家屋、②家庭用品、③事務所償却・在庫資産、④農漁家償却・在庫資産、⑤農作物、⑥農地・農業用施設）を対象とした。算出方法の詳細は報告書に記載しており、ここでは説明を省略する。

(2-2) 2019 年台風 19 号の実績流量を対象とした経済被害の算定結果

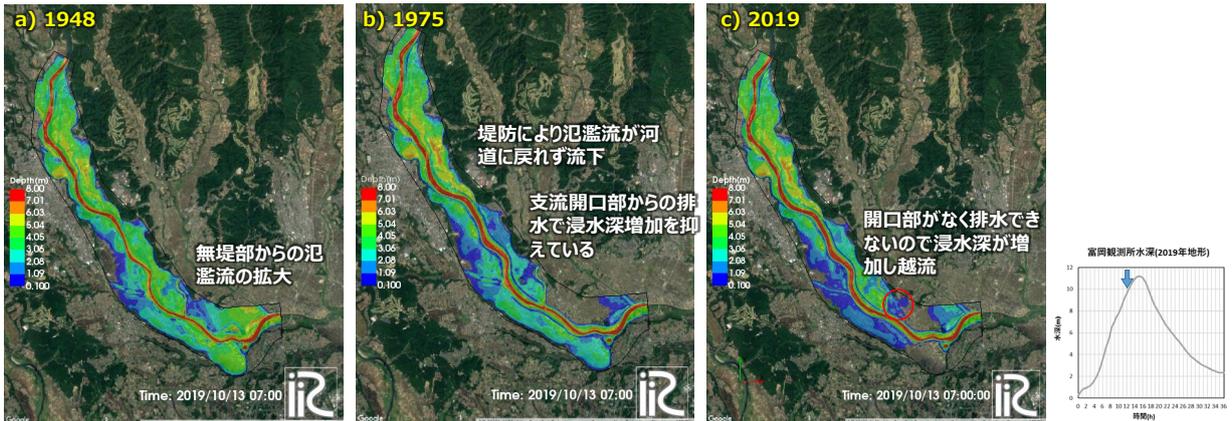
2019 年出水を対象とした氾濫計算結果をもとに、計算範囲全域での年代別の直接被害を図-8 に示す。全計算範囲の被害額は 1948 年、1975 年、2019 年の順で大きく、なかでも、農地・農業用施設及び家屋の被害が被害額の大きい項目である。また、農地・農業用施設の被害額は変化が大きく、1948 年から 1975 年までで 17.5%減少、1975 年から 2019 年までで 39.6%減少している。これは堤防整備により浸水しない範囲が増えたため、浸水被害を受ける農地・農業用施設面積が減少しているためだと考えられる。一方、家屋の被害額は、1948 年と 1975 年の間で減少がみられるが、1975 年及び 2019 年の間で被害額は減少していない。これは、計算対象地域の集落の大部分が微高地である自然堤防上に位置しており、2019 年出水程度の規模では、浸水深が大きくなく、1975 年と 2019 年の間で差異が生じなかったためと考えられる。

図-9 は計算範囲の被害額を町丁目単位で示したものである。1948 年では、左岸側を中心に、被害額が 10 億円以上の地域が計算範囲全体に広がり、特に下流側の被害額が大きい傾向がみられた。1975 年になると、浅川合流点より下流側での被害額は 10 億円以内となっているが、久慈川左岸と大地が近接する付近の被害額が 50 億円以上と増加する結果となった。また、2019 年では右岸側のほぼすべての地域において、被害額 10 億円以内となっているが、浅川合流点付近の被害額が増大する結果となった。

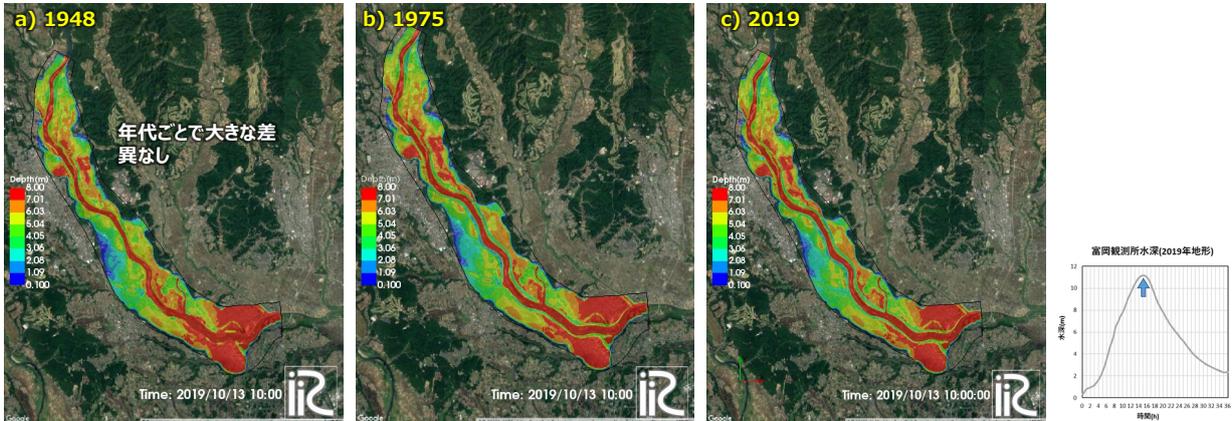
(i) 浸水初期



(ii) 流量ピーク時



(iii) 最大浸水時



(iv) 減水期

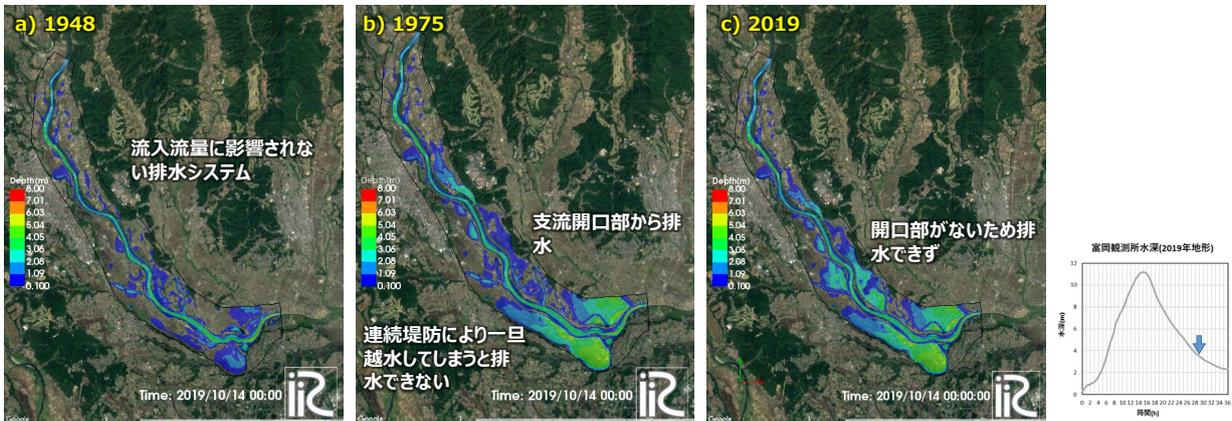


図-6 可能最大降雨時の流量を対象とした氾濫計算結果

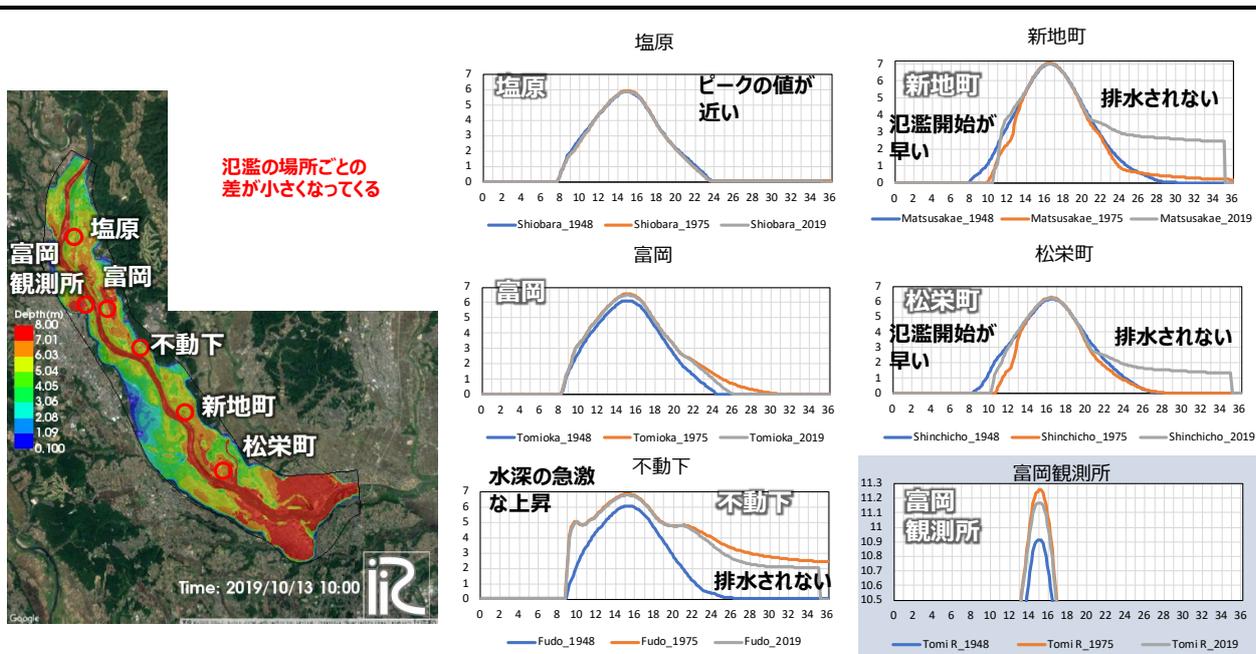


図-7 堤内地における氾濫流の水深と地形条件（可能最大降雨時の流量）

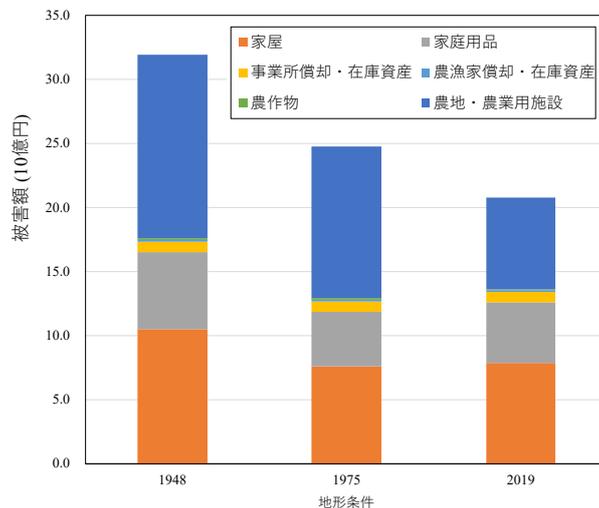


図-8 2019年台風19号出水を対象とした計算対象領域における経済被害

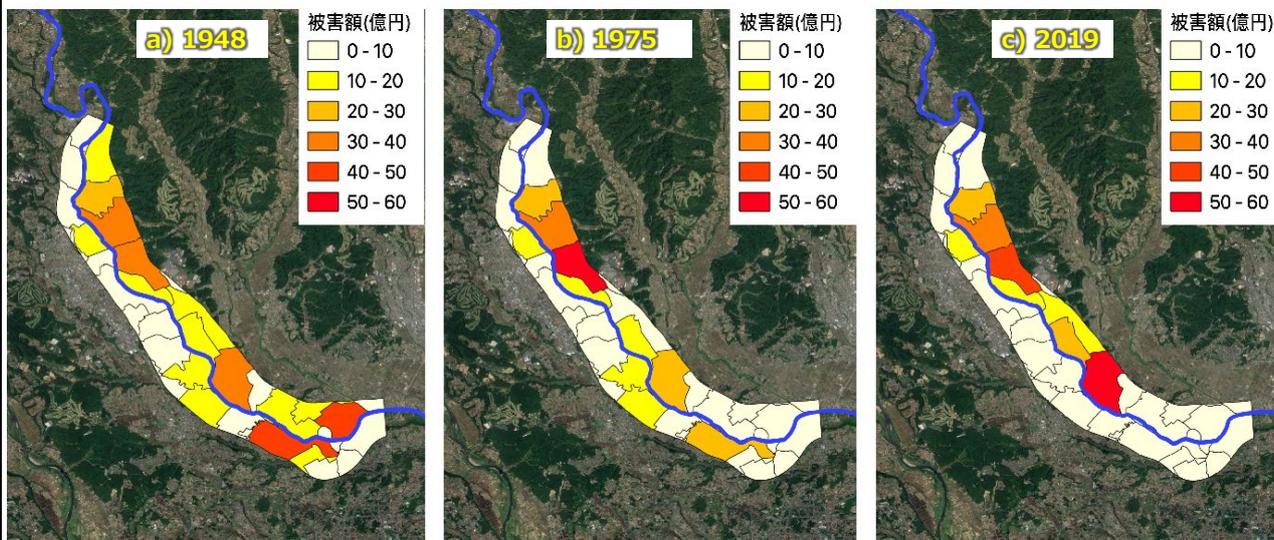


図-9 2019年台風19号出水を対象とした地域別の経済被害

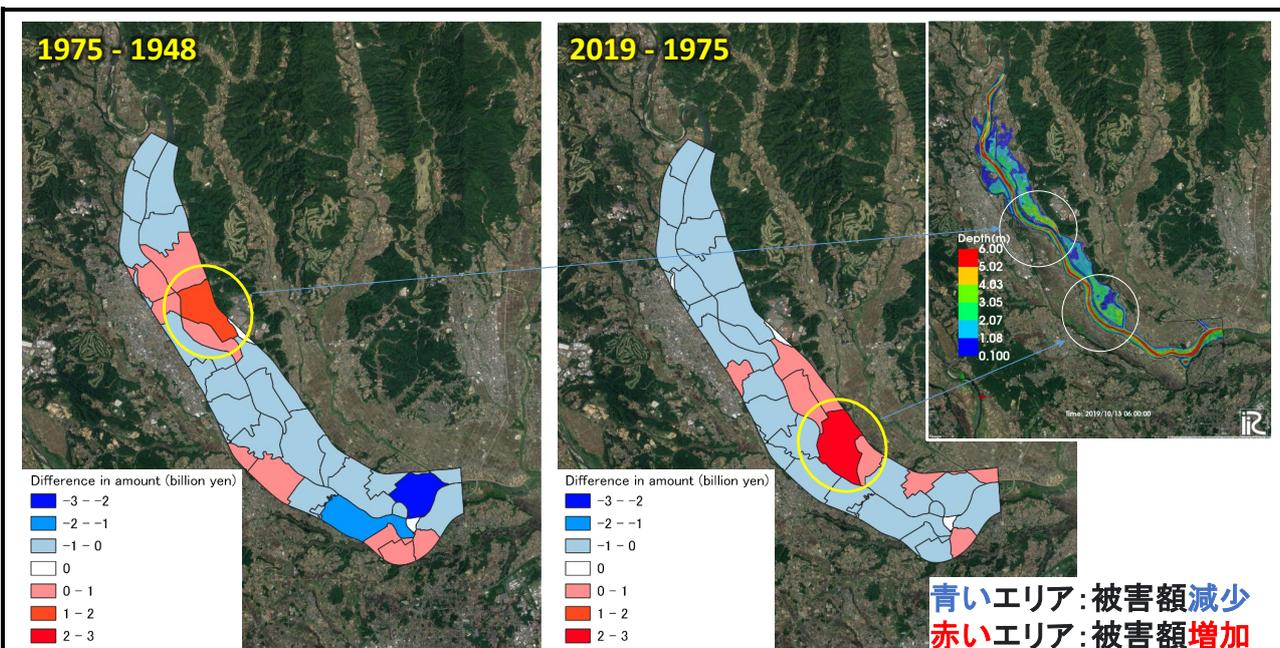


図-10 地域別の経済被害の年代間の比較（2019年台風19号出水）

図-10は、各年代の被害額の差を町丁目単位で計算したものである。各年代間において、多くの地域で被害額が減少または変化していないことがわかる。しかし、各年代間で左岸側に被害額が増加している地域があることに留意が必要である。1975年と1948年の間に被害額が増大した地域は、久慈川左岸と台地が近接する地域であり、1948年には連続堤防が設置されておらず、控堤によって氾濫流が制御され、上流からの氾濫流が河道に戻る様子が確認されている。しかし、1975年には、上下流から堤防が延伸され、開口部がごくわずかとなり、氾濫流が戻らず、湛水する結果となっている（図-2）。このような氾濫形態の変化が浸水深の増大をもたらし、被害額を増加させたものと考えられる。また、2019年と1975年の比較では、浅川合流点付近で被害額が増大している。1975年には、浅川合流点付近は連続堤防が存在しておらず、上流から流下してきた氾濫流が河道に戻っている様子が確認されている（図-2）。しかし、2019年は支川にバック堤が整備され、氾濫流が河道に戻らず当該地域に貯留される結果となった。台風19号の被災時にも、長期間の湛水が確認されたエリアであり、浸水深の増大や浸水の長期化によって、経済被害が増大したものと考えられる。連続堤防の整備によって、浸水面積が減少し、多くの地域で被害額が減少しているものの、開口部を閉じることによって氾濫流が河道に戻らず、浸水深が増加することで経済被害が増加している地域があることは注意すべき点である。超過洪水を踏まえ、氾濫流を適切に制御し集落を防御することや、氾濫流を河道に戻す機能を有する治水施設の整備が必要である。

(2-3) 2019年台風19号の実績流量を対象とした経済被害の算定結果

可能最大降雨を対象とした氾濫計算結果をもとに、計算範囲全域での年代別の直接被害を図-11に示す。全計算範囲の被害額は年代間で大きな差異はみられず、項目間でも違いはみられなかった。2019年10月洪水での被害総額と比べると3.3倍～4.9倍程度増加している。可能最大降雨を対象とした氾濫計算の結果、浸水プロセスには差異がみられるが、浸水ピーク時の浸水深に年代間の差異がほとんどみられず、被害額にも差が生じなかったものと考えられる。

図-12は計算範囲の被害額を町丁目単位で示したものである。各年代ともに、被害額が45億円を超過する地域が左岸を中心にみられ、年代間の差異はみられない。可能最大降雨の規模では治水施設の能力を大幅に超過する洪水であることから、本研究で対象とした堤防整備や不連続堤防の効果はほとんど発揮されていない。

(3) 霞堤の機能強化による被害軽減策

これまでの氾濫計算及び経済被害の計算の結果、氾濫流が堤内地を河道に戻ることなく、流下することで、被害が増大している地域がみられた。被害軽減策として、氾濫した氾濫流を下流に集中させることなく、河道に戻すことが重要であることから、上流側の霞堤を嵩上げし、氾濫流の下流への伝

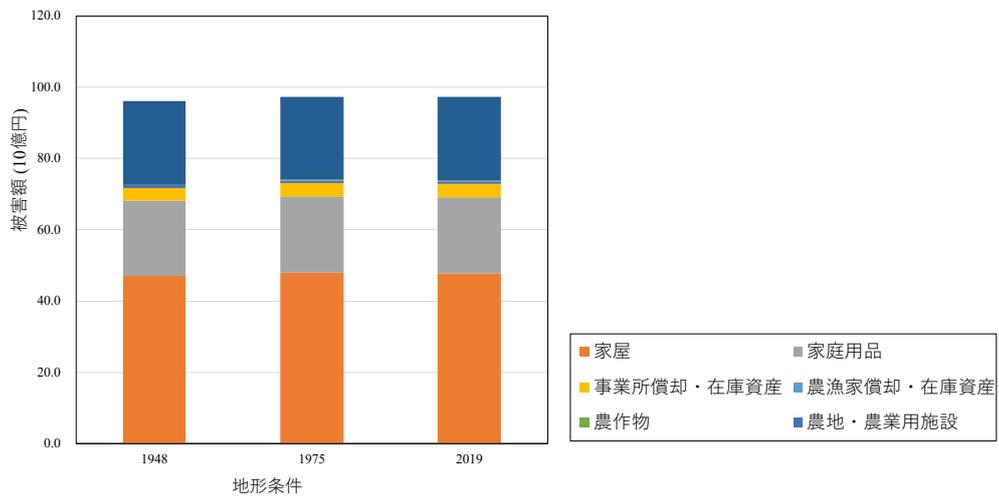


図-11 可能最大降雨時の流量を対象とした氾濫対象領域における経済被害

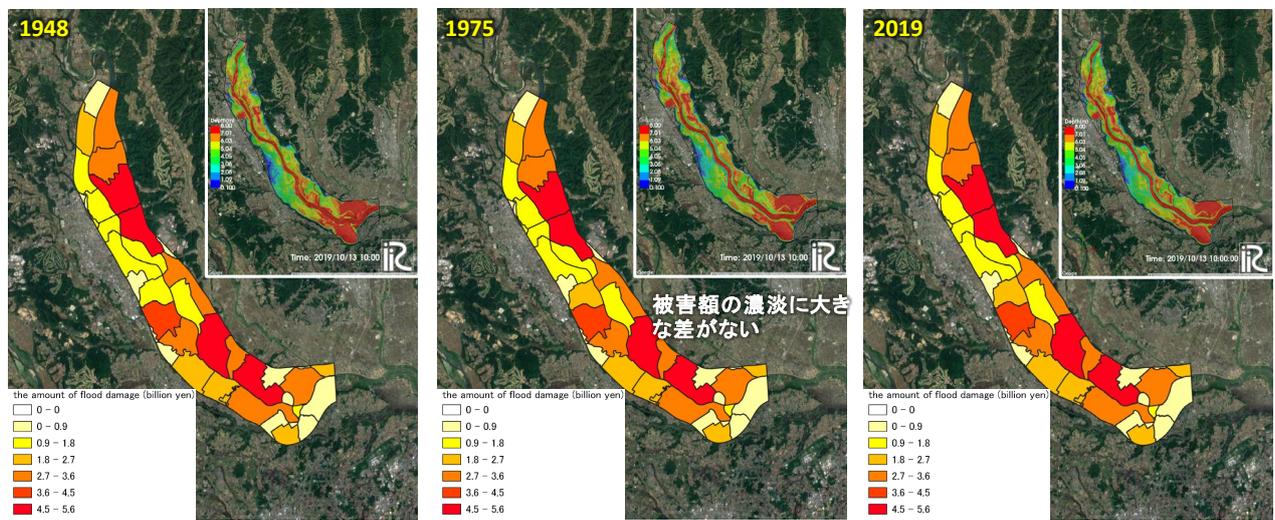


図-12 地域別の経済被害の年代間の比較（可能最大降雨時の流量）

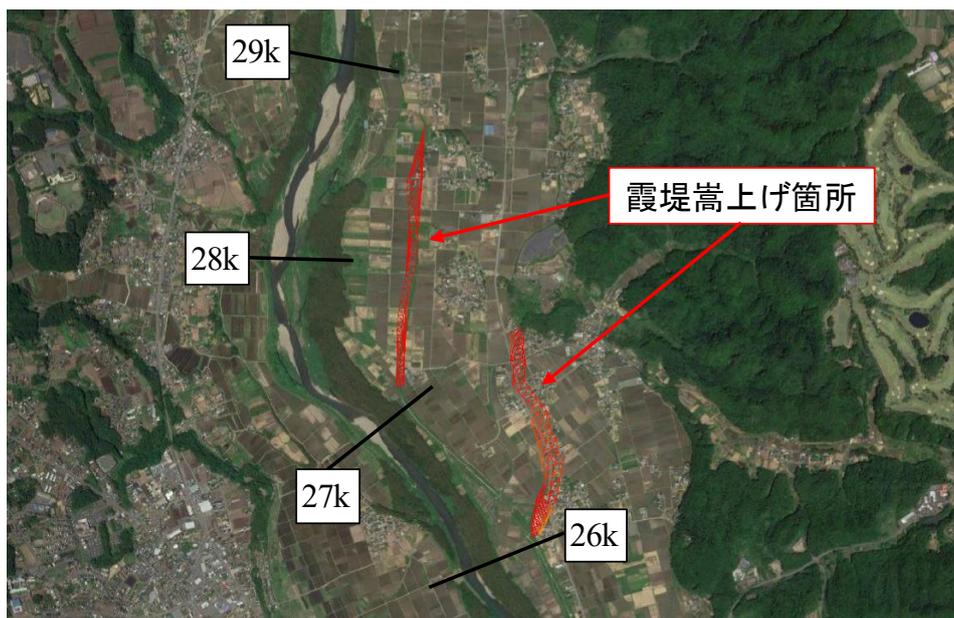


図-13 霞堤嵩上げ箇所

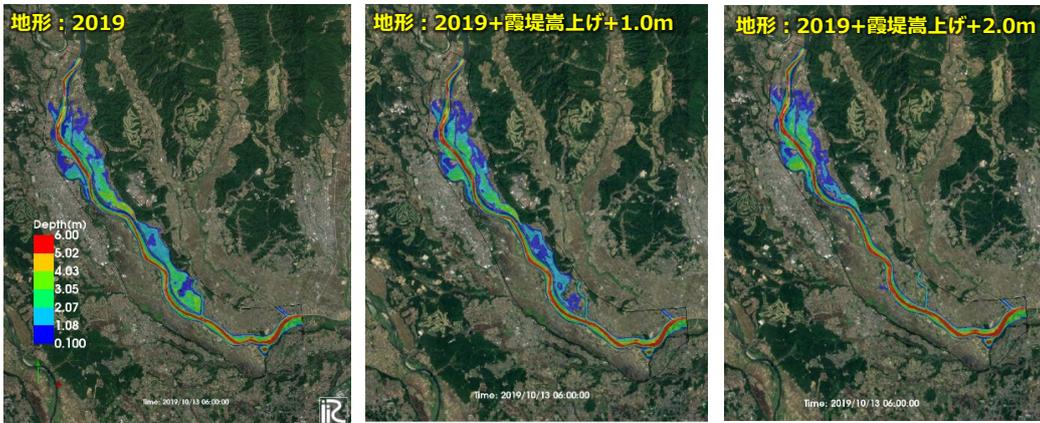
(i) 浸水初期



(ii) 流量ピーク時



(iii) 最大浸水時



(iv) 減水期

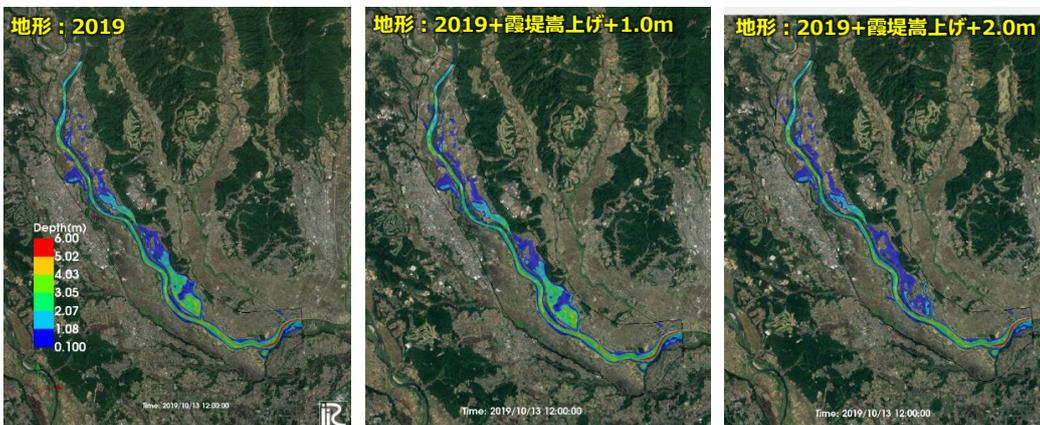


図-14 2019 年台風 19 号出水を対象に左岸霞堤を嵩上げした場合の氾濫計算結果

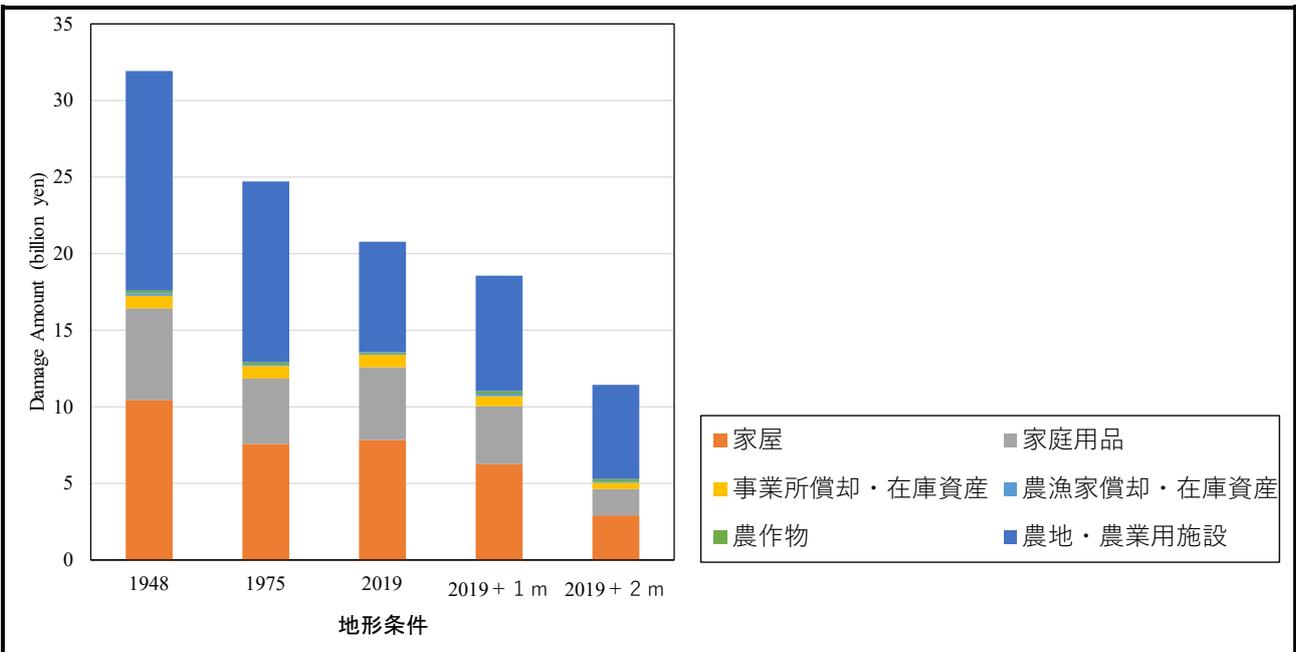


図-15 2019年台風19号出水を対象に左岸霞堤を嵩上げした場合の経済被害

搬を防ぐ対策が有効と考える。2019年台風19号による水害では、左岸の無堤部や破堤箇所から生じた氾濫流が堤内地を流下することで浸水被害が発生したことから、左岸上流部の霞堤を嵩上げの対象とする（図-13）。ここでは、対象の霞堤を+1.0m及び+2.0m嵩上げした場合の氾濫形態及び経済被害の変化について説明する。

図-14は、2019年台風19号出水を対象に、2019年地形、左岸霞堤を1.0m嵩上げ、及び左岸霞堤を2.0m嵩上げした場合の氾濫計算結果の比較を示したものである。(i)浸水初期、(ii)流量ピーク時、(iii)最大浸水時、及び(iv)減水期について各地形条件の浸水深を示している。(i)浸水初期ではいずれのケースも氾濫範囲や浸水深に差異はみられず、左岸上流の開口部から浸水が始まっている。(ii)流量ピーク時では、氾濫範囲に大きな差がみられた。2019年地形では、氾濫流が霞堤を流下し、久慈川と左岸台地が近接する地域を越えて氾濫流が到達しているが、霞堤を2.0m嵩上げしたケースでは、氾濫流は下流に到達していない。また、霞堤を1.0m嵩上げしたケースでは嵩上げしないケースと比較して、浸水深が抑えられている。(iii)最大浸水時には現況地形では、浅川合流点付近に氾濫流が到達しているが、霞堤を1.0m嵩上げしたケースでは、合流点付近の湛水はみられず、2.0m嵩上げしたケースでは、久慈川と左岸台地が近接する地域より下流に氾濫流が到達していない。また、(iv)減水期の計算結果も、年代ごとに差がみられ、現況及び1.0m嵩上げしたケースでは、浅川合流点付近で湛水が解消されていないのに対し、2.0m嵩上げしたケースでは、多くの地域で浸水が解消され、浸水深を大きく解消できる結果となった。

図-15は、各年代の地形と霞堤の嵩上げを行った場合の経済被害の比較を行ったものである。霞堤を嵩上げすることで、被害額が軽減されていることがわかる。特に、霞堤を2.0m嵩上げしたケースでは、家屋及び家庭品の被害額を大幅に減少できていることがわかる。従って、連続堤防が整備されている現在の地形条件においても、氾濫許容及び氾濫流を戻す構造物を適切に設置することで、氾濫被害を大きく抑制することが可能であることが示唆された。

まとめ

- 堤防整備状況を表した地形モデルごとの氾濫シミュレーション結果を比較すると、連続堤防の整備によって浸水域が大幅に減少する。しかし、浸水域では堤防整備と浸水の程度は必ずしも対応せず、堤防の存在によって浸水深や浸水速度が極めて大きくなる箇所が生じ、リスクに場所ごとの差異をもたらすことがわかった。不連続堤防による下流への流量負荷の低減効果は今回の洪水においておよそ10%であった。かつて存在した副次的堤防は、堤防のない場合は効果があるが、連続堤防整備下では効果が小さい。

- 台風19号出水の流量を対象とした経済被害の算定の結果、1948年以降、計算対象領域では、堤防整備によって被害額が減少する結果となった。しかし、氾濫流が集中する地域では、被害額が増加傾向

にあった。一方、可能最大降雨時の流量では、計算対象領域全体が浸水するため、地形条件による被害額の差はみられなかった。

・現存する上流左岸の霞堤を嵩上げする対策を行った場合、下流域に到達する氾濫流の量が減少するため、現況地形の場合と比較して、浸水深や経済被害が減少した。特に、**2.0m** 嵩上げを行った場合に、計算対象領域の経済被害は **51%**減少することが明らかとなり、氾濫流を河道に戻すことで被害を軽減可能であることが明らかとなった。

⑦研究成果の発表状況・予定

(本研究の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・昨年度及び一昨年度の研究成果を*regional environmental change*誌(タイトル: Learning from the past: common sense, traditional wisdom, and technology developed in Japan)に投稿中である。
- ・また、昨年度の研究成果を*Journal of Hydrology: Regional study*誌(タイトル: Estimation of flood control capability by traditional discontinuous levee system: A case study on Disaster in Japan, 2019.)に投稿中である。
- ・今年度の研究成果は、土木学会論文集に投稿予定である。

⑧研究成果の社会への情報発信

- ・2020年12月6日 土木学会水工学委員会「令和元年台風19号豪雨災害調査団」速報会

⑨表彰、受賞歴

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

今年度実施した数値シミュレーションにより、堤防整備及び霞堤を中心とする過去の治水システムの機能を定量的に評価することができた。加えて、治水経済マニュアルに基づく、経済被害の算定を行うことで、堤防整備によって局所的に被害が増加する地域を抽出することや、霞堤の嵩上げによる被害の軽減効果を検証することができた。今回実施した、過去の治水システムの解明、氾濫計算による機能評価、及び連続堤防との融合による被害軽減策の提言は、他流域にも展開可能であり、超過洪水時の氾濫リスクの増大が懸念されている他流域に研究を展開したいと考えている。また、当該手法を用いることで、過去の治水システムを含む流域治水を実装する際に、堤内地のリスクがどのように変化するかを検証することが可能であり、政策決定の一助になると考えている。

一方、研究成果を流域に実装するプロセスについて課題があると考えている。特に、堤内地は民有の土地が大部分を占めており、大規模水害時の被害抑制に効果のある構造物であっても所有者の意思によって保全が困難な場合が想定される。今後、地域住民や都市計画者など複数の利害関係者を交えた合意形成について実践や研究が必要となる。

また、堤内地での氾濫流の貯留や制御を行う際には、人口動態の変化に伴う土地利用の変化や耕作放棄地の増加といった社会的要因、氾濫原を活用する生態系の保全や再生等多様な要因を考慮する必要がある。今後、氾濫を許容する治水政策が生態系の保全や再生とどのように関わるのか、基礎的知見を収集し、政策にフィードバック可能な情報を提供したいと考えている。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究の成果により、堤内地における過去の治水システムの氾濫制御効果や連続堤防の整備効果を明らかにすることができた。また、不連続堤防の締切りにより、氾濫流が集中し、浸水深が増大している可能性があることを指摘し、現存する霞堤の機能を強化することで、氾濫流を河道に戻し、被害を大きく軽減できることを明らかにした。これらの研究成果は、霞堤と連続堤防の融合による被害軽減策や、不連続堤防の締切り手順の最適化に貢献するなど、実務への反映が可能である。また、本研究の成果は、河川管理者と都市計画者等が連携し、堤内地を含めた流域全体での治水対策を検討するための基礎的な資料として活用できる。加えて、氾濫許容を前提とした、流域治水を社会実装するうえで地域住民との合意形成の際にも活用可能と考えている。