

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
		瀧 健太郎	滋賀県立大学 環境科学部	教授
②研究テーマ	名称	流域治水検討用一体型モデルの開発と実用化に関する研究		
③研究経費（単位：万円） ※端数切り捨て。		令和 4 年度	令和 5 年度	合 計
		976 万円	863 万円	1839 万円
④研究者氏名				
氏 名		所属機関・役職（※令和5年3月31日現在）		
岩見 収二		株式会社 建設技術研究所 大阪本社河川部 次長		
川池 健司		京都大学防災研究所 教授		
佐山 敬洋		京都大学防災研究所 教授		
中村 公人		京都大学大学院農学研究科 教授		
中村 圭吾		公益財団法人 リバーフロント研究所 主席研究員		
濱 武英		京都大学大学院農学研究科 准教授		
山田 真史		京都大学防災研究所 助教		
⑤技術研究開発の目的・目標				
流域治水の本格導入が標榜されているが、流出抑制対策は（河川区域外で実施されるゆえ）協力を得られたものから小規模かつ分散的に漸次普及していくことが見込まれる。これらの各種対策は局所的効果を把握することは比較的容易であるものの、流域スケールでの効果を表現することが技術的に困難であった。しかし、河川計画との整合を考えると、流域全体で各対策の効果を個別から群として積み上げた評価が確実に求められる。 流出モデルは流域・小流域スケールの流出量を再現することを得意とするが、複雑な地形や小規模施設（水路、盛土、樹林帯、建物等）を考慮した物理的プロセスの表現に課題が残る。一方で、洪水流モデルは河川流や氾濫流の地形に応じた複雑な動きを表現できるが、山腹斜面を含む流域スケールでの適用に課題が残る。実務適用においては、それぞれの解析モデルを流域治水の視点から如何に改良し、如何に組み合わせるかが喫緊の課題である。 そこで本研究では、田んぼダムをはじめとする各種流出抑制対策の効果を適切に評価可能な、流域治水検討用一体型モデルを開発するとともに、河川区域外(集水域・氾濫域)での対策の技術的・政策的な不確実性や現行河川計画制度を踏まえた実務適用法を提案する。以下の方法により目的を達成する。 (1) 流出解析・洪水流解析モデルの開発 (2) 流出抑制対策に適した治水効果の見える化 (3) 流出抑制対策の最適配置・運用の検討 (4) 精度検証のための現地の実証実験 - 実流域への適用 また、流出抑制対策の効果検証結果を踏まえ、技術的・政策的信頼性を吟味し、河川法の主旨に則りどの対策をどの程度河川計画の内数として見込めるのかを整理する。あわせて、各種対策について河川計画に反映するための最低限の技術的要件を整理する。				

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

1. 流出解析モデル・洪水流解析モデルの開発

本研究開発では、流出解析モデルとして RRI モデル (佐山ら) を、洪水流解析モデルとして非構造格子二次元不定流モデル (川池ら, 以下, 2D 不定流モデル) をベースモデルとして、両モデルの改良と組み合わせにより、連成計算を実行するモデルを開発する。

(1) 流出モデル (RRI モデル) の改良

RRI モデルを流域治水対策の検討等に適用するためパラメータの持つ物理的意味合いを反映したものとした。大域的探索手法である SCE-UA 法を適用し、水害リスクラインの検討において適用されている探索範囲で同定する方法と河道形状係数に実測データから作成した関係式を設定した上で物理性を考慮した探索範囲で同定する方法を開発した。

表 RRI パラメータの探索範囲

モデル	パラメータ名	一般値	探索範囲	備考
斜面流出モデル	ns_slope	斜面の等価粗度係数 0.3 (0.15~1.0)	0.03~3.0	
	soildepth	土層厚 1.0 (0.5~2.0)	0.05~3.0	層厚を0.2m以下に設定しない。山国川では流出量が不足したため、一般値より下層を設定
	gammaa	飽和・不飽和層の有効空隙率 0.471 (0.3~0.5)	0.5	土層厚と同様なので、固定値を設定
	gammam	不飽和層の空隙率	0.05~0.49	Gammaa以下の範囲を設定
	ka	透水係数 0.1 (0.01~0.3)	0.01~0.5	
	beta	定数	2.0~30	飽和・不飽和流の発生タイミングに起因し、影響も大きい探索範囲として設定
河道流出モデル	ns_river	河道粗度係数 0.03 (0.015~0.04)	0.001~0.1	
	riv_thresh	河道モデル設定閾値	3~50	
	width_param_c	河道形状係数	1~50	
	width_param_s	河道形状係数	0.035~3.5	経験的に決まる定数であるが、氾濫が生じ易い係数の場合などで、再現性に大きな影響があることから探索範囲に設定
	depth_param_c	河道形状係数	0.01~10	
	depth_param_s	河道形状係数	0.04~4.0	

※一般値は、RRIモデルマニュアルに記載されている値
出典：RRIモデルのパラメータ設定手順(案) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 に加筆

(2) 流出モデルと洪水流モデルの結合

流域治水検討用モデルでは、分布型流出モデル (RRI) と洪水流モデル (1D・2D 不定流モデル、構格子・非構格子) を組み合わせる。UNST モデルに適用する標高データは主に、国道交通省 ALB 測量成果、都道府県レーザ測量成果、基盤地図情報数値標高モデル (DEM 5A) を用いる。

- 一 集水域 (主に山腹斜面) : RRI モデル (100m メッシュ / 150m メッシュ)
- 一 氾濫域・集水域 (単調な平地) : 2D 不定流モデル (構格子 25m メッシュとして運用)
- 一 氾濫域・集水域 (複雑な平地) : 2D 不定流モデル (非構格子 数 m~25m メッシュ)
- 一 大河川、複雑な河道 : 2D 不定流モデル (非構格子 数 m~10m メッシュ)
- 一 中小河川、単調な河道 : 2D 不定流モデル (非構格子) / 1D 不定流モデル

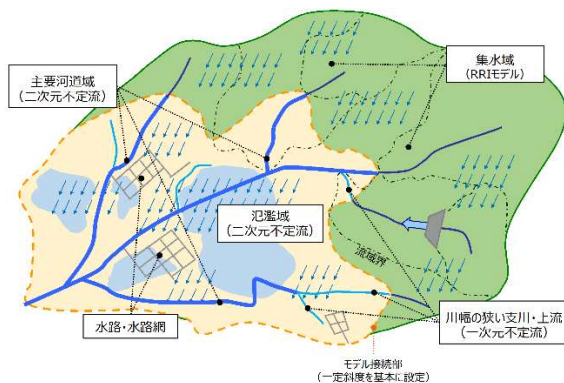


図 モデル構成

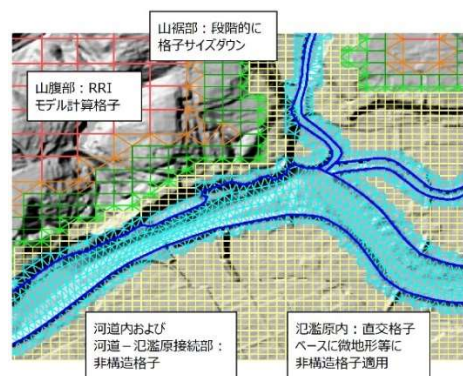


図 流出モデル・洪水流モデルの組み合わせイメージ

接続部は、洪水流解析領域を概ねカバーできる標高・傾斜度 5 次メッシュの最低傾斜 5 度を閾値とした (5 度以上: 流出モデル、5 度以下: 洪水流モデル)。

(3) 要素モデルの追加

RRI モデル及び非構格子二次元不定流モデル (以下、UNST モデル) に流域貯留施設・氾濫流制御施設をモデル化し組み込んだ。

1) 田んぼダム

流出モデル 田んぼダムの領域に合わせた田んぼダムユニットを組み込んだ。排水路からの流出を Kinematic Wave で表現し、畦畔の越水は畔高に応じた側方流出で表現。

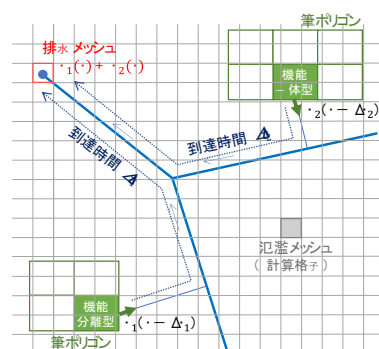
洪水流モデル 田んぼ形状は筆ポリゴン (農水省公



図 流出モデル・洪水流モデルの適用範囲 (球磨川流域) 白塗範囲が洪水流モデル、他は流出モデルの分担

開)を採用し、以下のアルゴリズムにより1筆ごとの田んぼダムを検討可能なモデルとした。

- ①筆ポリゴンごとに、田んぼダムかどうか、機能一体型か(四角セキ・三角セキの諸元)機能分離型か(穴径など)を条件として付与(水田流出は水田流出簡易プログラム(ver0.0)(農林水産省)を参考)
- ②各筆ポリゴンから最近傍水路までの最短経路を探索し、排水メッシュまでの時間遅れをクラーヘン式で算出
- ③の時間遅れを考慮して、筆ポリゴンからの流出を排水メッシュに引き渡し
- ④筆ポリゴンごとの流出量 q は、農水省プログラムのアルゴリズムで計算
- ⑤筆ポリゴンの容量超過分を氾濫メッシュに渡し、氾濫計算



注) 図は簡単のため構造格子で表現している。

2) ため池モデル

流出モデル & 洪水流モデル 両ベースモデルに搭載されているダムモデルを応用する。

3) 下水道・圃場整備エリアモデル

洪水流モデル 田んぼダムと同様のアルゴリズムを適用し、細かい水路ネットワークによる排水を面的に処理する。下水道・圃場整備エリアにおいては両事業の計画降雨分を一旦連続式からシンクさせ、時間遅れを考慮して排水ポイントに引き渡す。

4) 樹林帯モデル

洪水流モデル 実務一般に用いられる河道内樹木による抵抗式を適用し、ベースモデルに機能を追加。植生抵抗を抗力係数で表現し底面摩擦と分け計算し、河道内外の樹林帯の減勢効果を評価する。

5) 盛土モデル

洪水流モデル ベースモデルに既搭載。二線堤や道路などの連続盛土を表現する。また、湾曲が多いなど複雑な中小河川で UNST モデルを適用する場合には、精度確保のため堤防盛土として適用。

6) 一次元河道モデル

流出モデル & 洪水流モデル ベースモデルに既搭載。単調な中小河川や水路に適用。

(4) モデルの精度検証

流域治水検討用一体型モデルの検証として、従来モデル(実務モデルまたは昨年度開発モデル)による解析結果との比較を行った。精度検証については、本川の主要地点における実測水位との比較によるものとし、ピーク水位の時間差、Nash-Sutcliffe 係数(以下、「NS 係数」とする)で比較する。

球磨川 [初年度開発モデル: 分布型流出※~1D 不定流~構造格子 2D 不定流モデル、R2。7 洪水対象]

九頭竜川 [実務モデル: RRI (リスクラインモデル)、H16。7 洪水対象]

土器川 [実務モデル: 貯留関数~1D 不定流~構造格子 2D 不定流モデル、H16。10 洪水対象]

姉川・高時川 [初年度開発モデル: 分布型流出※~1D 不定流~構造格子 2D 不定流モデル、R4。8 洪水対象]

※ 昨年度開発モデルの分布型流出モデルは、RRI モデルと同様の三層モデルを適用。

以下に、結果を示す(紙面の都合上、図示するのは、土器川流域のみ)。今次開発モデルは、流出モデル(RRI)と洪水流モデル(2D 不定流、非構造・構造格子)の連成計算である。

実測値との比較の結果、Nash 係数は、①球磨川流域で0.54、②九頭竜川流域で0.52、③土器川流域で0.50、④姉川・高時川流域で0.44 となり、昨年度開発モデルに比べて精度が落ちた。

要因としては、ALB 地形データ

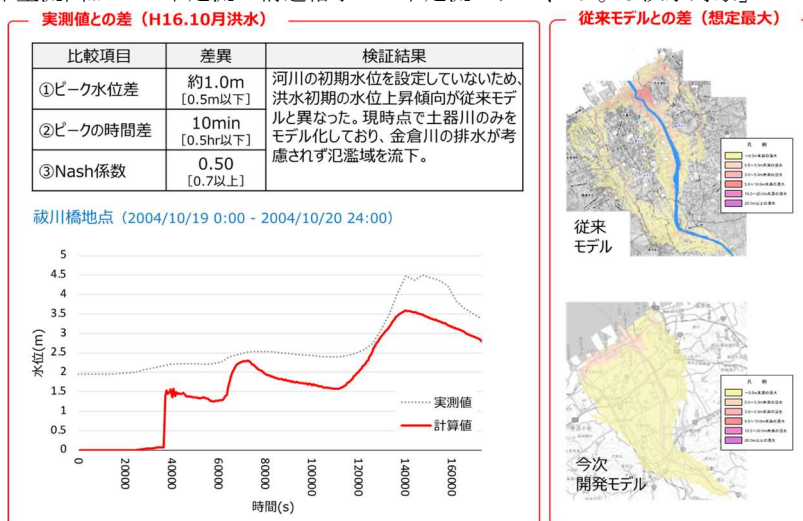


図 基準点実測水位との差、従来モデルとの氾濫域・浸水深の差(土器川流域)

の不完全（九頭竜川流域）、支川築堤区間で、かつ、横断測量/LP データがないところでの氾濫量が多い（堤防高が拾えていない）（球磨川流域）、小河川・水路ネットワークでの氾濫量が多い。（九頭竜川、球磨川、土器川流域）といったことが考えられる。これは、計算過程の問題ではなく、境界条件の問題であり、各流域で丁寧なモデリングができれば精度は確保されると考えられる。

(5) 流域貯留施設・氾濫制御施設の効果

紙面の都合上、球磨川流域での田んぼダムの効果検証結果のみを示す。田んぼダム効果については九頭竜川流域でも解析している。その他、樹林帯・霞堤の効果については姉川・高時川流域、ため池の効果については土器川流域で解析している。

R2. 7 豪雨時に球磨川左岸の水田が全て田んぼダムとして運用された場合、人吉大橋地点の流量は $6,690\text{m}^3/\text{s}$ から $6,610\text{m}^3/\text{s}$ に低下した（昨年度開発モデル、右上図）。

また、球磨川流域の湯前町（実証実験対象地区）に設定した田んぼダムの効果を解析した（今次開発モデル、右下図）。田んぼダムに貯留され、下流域の氾濫が緩和された。

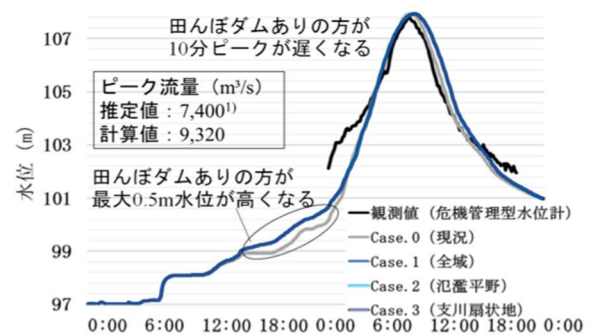


図 人吉大橋地点の水位低減効果



図 湯前地区の田んぼダムによる貯留効果

2. 流出抑制対策に適した治水効果の見える化

本川・支川の水位縦断、氾濫域での浸水深・流速の時間変化を「見える化」した。洪水リスクを可視化する指標として、最大浸水深や最大流体力 (u^2h)、床上浸水 ($h \geq 0.5\text{m}$) および家屋水没 ($h \geq 3.0\text{m}$) の発生頻度、家屋流出発生頻度 ($u^2h \geq 2.5\text{m}^3/\text{s}^2$)、農地（水田）被害発生頻度（0.3m以上の浸水が24時間以上継続）、家屋被害の期待被害率を算出した。（紙面の都合上、姉川・高時川流域一部のみ掲載）

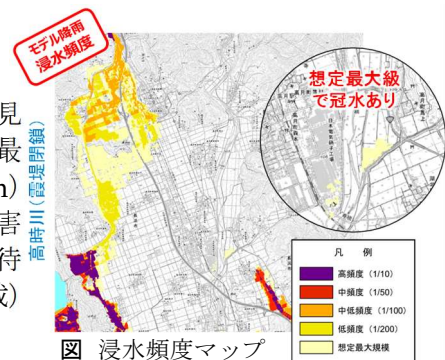
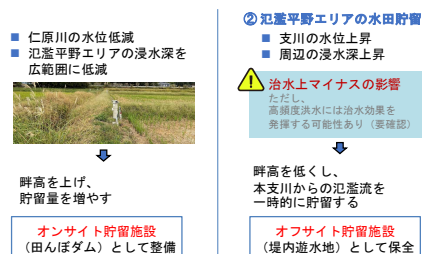


図 浸水頻度マップ

3. 流出抑制対策の最適配置・運用検討

球磨川流域での R2. 7 豪雨を対象とした解析の結果、広域的な水田貯留施設化に伴い、支川群のピーク時間は遅くなる一方で、ピーク前の水位上昇がみられた。支川扇状地エリアの水田貯留は本支川合流付近の浸水軽減に寄与するが、氾濫平野エリアの水田貯留は周辺の浸水深を増加させ、支川ピークを僅かに上昇させた。このことから、流域治水計画に水田貯留施設を位置付ける際には、配置による機能の違いを戦略的に考慮すべきであることが分かった。



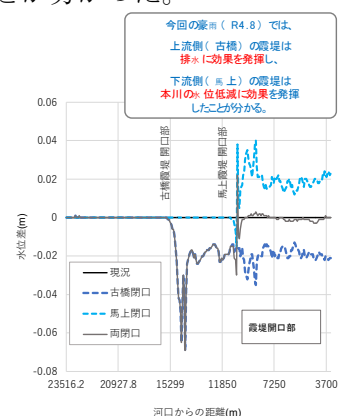
上図 水田貯留施設による水位低減効果と配置・運用（球磨川流域）

右図 霞堤による水位低減効果と配置・運用（姉川流域）



霞堤の効果

- 配置や外力（内外水）のバランス・タイミングにより変化
- タイプ①（氾濫流・内水排水型）にも
- タイプ②（外水貯留型）にも
- なり得る。
- 受益・負担の関係を一律に決められない。



※球磨川流域および姉川・高時川流域ともに昨年度構築モデルでの検証

姉川・高時川流域での R4。8 豪雨を大量とした解析の結果、上流側霞堤では内水排除効果が卓越し河川水位を上昇させ、下流側霞堤では外水貯留効果が卓越し河川水位を低減した。霞堤の機能は場所・形状だけではなく、開口部に集まる内水・氾濫流量、それらと外水流下のタイミングで変わる。

検討の結果、水田貯留施設（田んぼダム・霞堤）とも配置や降雨により機能が大きく変わることが運用上の課題として整理された。

4. 精度検証のための現地の実証実験

球磨川左岸湯前町地区の分離型田んぼダムでは、R5。6。28 降雨で最大 77%の流量低減が観測された。

九頭竜川支川日野川右岸鯖江市でも観測を行い、中規模出水が R5。7。12～14、9。18～19 に観測されたものの、降雨時に堰板が逆に開放され田んぼダムとしての効果検証を行えなかった。この結果から、運用上、政策的不確実性があることが明らかとなった。

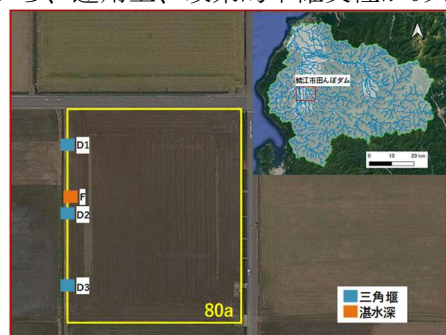
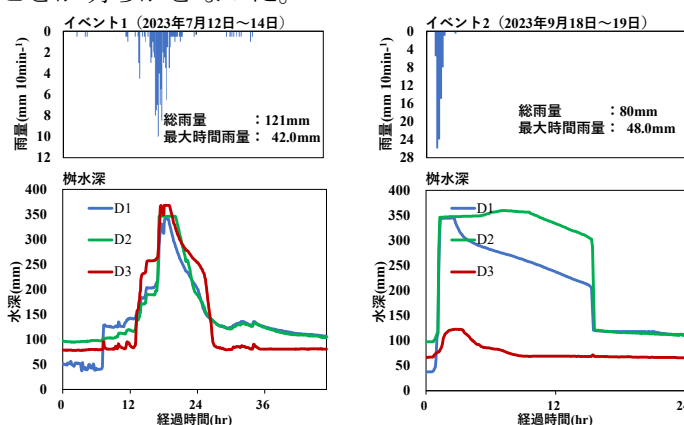


図 鯖江市田んぼダム位置（上）と観測値（右）（九頭竜川支川日野川流域）



5. 河川整備計画との連動方法の検討

本研究を通じ、田んぼダム・霞堤遊水地などの流域貯留施設は、降雨パターンだけではなく配置・運用により効果は変幻自在であることが明らかとなった。河川整備計画に位置づける際には、降雨・配置・運用により変化する機能を以下に解釈するかがポイントとなる。右図には、霞堤を例にとり、①外水貯留機能、②内水・氾濫水排除機能をどのように保全することが可能か、制作実務の観点から検討した結果を示す。田んぼダム・霞堤遊水地も含め、内外水に対する貯留機能がある施設については、図に示すように、貯留機能保全区域を適用することが現実的であると考えられる。

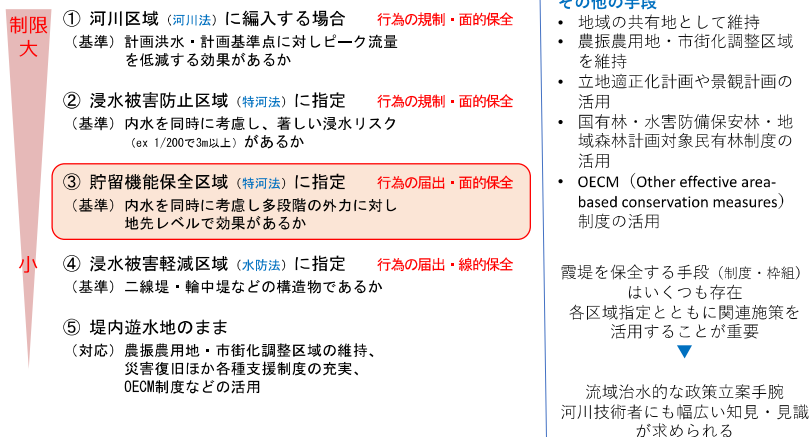


図 政策実務から考える霞堤遊水地の保全方法

6. 本研究における課題

本研究で提案したモデルは、地先・支川・本川を含む広域かつ詳細な解析を行うものである。そのため、大量のデータ（気象データ・地形データ・水文観測データ）を扱う必要があり、モデリングには高度なデータ処理技術が必要で、多大な時間コストを要する。したがって、実務適用にあたっては、省力化および人為ミス防止のため、モデリング作業を半自動化することが重要な課題であると考えられる。

⑦研究成果の発表状況・予定

瀧健太郎 (2023)、流域治水の社会実装に向けて～滋賀県を対象とした事例研究を中心に～、第 10 回 土木学会 流域管理と地域計画の連携に関するワークショップ

早崎水彩・前川勝人・佐伯絵美・瀧健太郎 (2022) 二次元不定流モデルを用いた水田貯留施設の持つ洪水調整機能の広域評価、土木学会論文集 B1 (水工学)、78(2), pp. I_547-I_552

馬場大輝・築山省吾・辻光浩・瀧健太郎 (2023)

(予定)

福井治・西澤諒亮・岩見収二・山田真史・佐山敬洋・瀧健太郎 (2024) 流域治水検討に適用するための RRIモデルのパラメータ設定手法, 河川技術論文集, 第30巻 (in Print)

早崎水彩・山田真史・佐山敬洋・瀧健太郎 (2024) 琵琶湖水位と連動した統合水理モデルによる「地先の安全度」評価, 土木学会論文集特集号 (水工学) (投稿中)

山村考輝・瀧健太郎 (2024) 遺伝的アルゴリズムを用いた田んぼダムの最適配置探索法の提案, 土木学会論文集特集号 (水工学) (投稿中)

⑧研究成果の社会への情報発信

瀧健太郎 (2023)、流域治水の社会実装に向けて～滋賀県を対象とした事例研究を中心に～、第 10 回 土木学会 流域管理と地域計画の連携に関するワークショップ

⑨表彰、受賞歴

特になし。

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

本研究開発では、流域治水を本格展開するための技術基準で用いられる標準手法のたたき台として提案している。本研究開発を通じて、現在わが国が有する解析技術を結集し、河川区域のみならず、集水域・氾濫域での流出抑制施設等（田んぼダム・ため池利用、二線堤、防備林、土地利用・住まい方の工夫）の各種対策の効果を定量的に評価し、特定都市河川法等に戻づく行政計画として位置付けるのに十分耐えうる蓋然性を確保した「地に足のついたモデル」の考え方を提供する。

科学的な根拠に基づき、河川計画と連動した流域治水に係る計画が策定・実施されることが、流域治水の着実な進展には不可欠である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

同上。