

国-04

気象・水位情報の提供による応急対応促進

観測水位を活用した傾向分析による
中小河川の水位情報提供システムの開発

官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）

革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術領域

令和2年度成果

令和3年3月

国土交通省

資料1 「観測水位を活用した傾向分析による中小河川の水位情報提供システムの開発」の概要

アドオン額：231,000千円(国土交通省)

元施策：有 / PRISM事業・継続予定

課題と目標

- 近年、激甚な水害が頻発しており、**中小河川の洪水時の避難の遅れにより、多くの方々が亡くなっている。**
- また、今後、地球温暖化に伴う気候変動により**洪水の発生頻度が2倍～4倍程度に増加**することが予測されている。
- 都道府県が管理する中小河川は**雨が降ってから洪水が発生するまでの時間が短く、また、水位上昇速度が大きいことから、避難できる時間が短いことが多い。**
- これまでの**水位予測手法は高い技術力と多額の費用が必要であり、都道府県が管理する多くの中小河川では洪水時の水位予測を実施できていない。**
- **速やかな避難判断を促し、人命を保護するために、汎用性のある「短時間で計算可能な」、「安価」、「簡便」で「必要な精度」を有する水位予測技術を開発し、全国の中小河川への導入促進を図る。**

施策の全体像(元施策及び対象施策の概要)

- 元施策：全国の中小河川のうち水害からの人命の保護の必要性の高い地区等に危機管理型水位計を約10,000地点に設置、主要な大河川において左右岸別に上流から下流まで連続的に洪水の危険度を表示することが可能な水害リスクラインの整備・・・(R2年度：162,000千円)
- PRISM：中小河川における洪水時の住民避難を支援するため、**「住民避難が必要な河川水位にいつ到達するのか」に着目した水位予測モデルの開発。**技術研究開発の集中・一元管理により、**効率的・効果的に汎用性のある安価・簡便で、必要な精度を有する水位予測技術を開発し、都道府県への導入促進を図る。**
- SIP「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」においては、スーパー台風等による大規模水害時における広域避難等の行政判断への活用のため、スーパー台風の進路予測や長時間予測雨量を用いて長期的な河川水位の傾向をリアルタイムで予測するシステムを開発する。
- 全体像：既存のレーダや水文観測に加え、水位計の設置促進(7000地点 17,000地点に拡大)等により得られるビッグデータを活用し、氾濫する危険のある水位に到達する約2時間前までに水位予測情報を提供可能な、中小河川でも導入しやすい安価・汎用型の水位予測技術を開発する。

出口戦略

- 洪水予測を行う河川の拡充・精度向上
現在、洪水予測を行っている都道府県管理河川は128河川であるが、PRISM施策により、**洪水により多くの人命が失われる危険性がある約1,500河川へ拡大。**
- オープンデータ化に伴う民間誘発効果
水位観測・予測情報等を加工・提供等する情報配信事業等の促進。

民間研究開発投資誘発効果等

- 都道府県において水位予測システムを導入する際の支出の削減・・・(約150億円)
- 民間からの貢献額：3年間で約6,500万円相当
 - ・ 民間技術者の研究参与：約1,500万円(5万円/日×100日/年×3年)
 - ・ 民間技術者の定例勉強会への参画：約30万円(0.5万円/人×2人/回×30回)
 - ・ 河道断面、H-Q式等データの整理等：約5,000万円(50万円/河川×約100河川)

アドオン（国土交通省）：231,000千円
 元施策名：（危機管理型水位計の設置促進）等 162,000千円

都道府県が管理する中小河川は雨が降ってから洪水が発生するまでの時間が短く、また、水位上昇速度が大きいことから、避難できる時間が短いことが多い。

洪水により多くの人命が失われる危険性がある中小河川は約1,500河川あるが、その多くは水位計の設置箇所が少なく、高い技術力と多額の費用が必要な水位予測が実施できていない。住民の確実な避難のために水位予測を行う河川の拡大が必要。

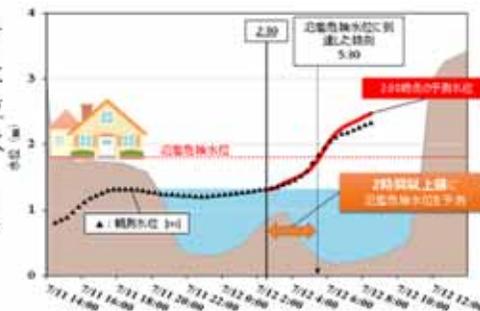
【元施策】

都道府県や市町村が管理する水位観測地点が少ない中小河川等へ普及を促進し、水害からの人命の保護の必要性の高い地区等に危機管理型水位計を設置（約10,000地点）することで、水位観測網を拡大。（通常の水位計約7000地点と合わせて観測地点が17,000地点に）

【PRISM】

観測水位や予測降雨の情報を活用し、的確な避難指示等を出す重要な要素となる「住民避難が必要な水位にいつ到達するのか」ということを、中小河川においても危険な状態の水位に到達する約2時間前までに水位予測情報を提供可能な安価・汎用型の水位予測システムを開発する。

PRISM施策では、中小河川における洪水時の住民避難を支援するため、「住民避難が必要な河川水位にいつ到達するか」に着目した水位予測モデルの開発を行う。また、元施策として近年設置が進められている危機管理型水位計データを水位予測に活用する。



【開発のイメージ】

危機管理型水位計の設置



リアルタイムの水位観測データを水位予測にも最大限に活用し、水位計設置効果を最大化

洪水時の避難のためのリードタイムとして必要な2時間以上前に避難の呼びかけに必要な水位を予測する技術を開発し、都道府県への導入促進を図る。



全国の中小河川への展開

資料3「観測水位を活用した傾向分析による中小河川の水位情報提供システムの開発」の目標達成状況

- これまで構築してきた35河川の精度検証結果を踏まえ、抽出された検討課題（降雨量データの組み合わせ方法、レジーム則では地形を表現できない場合の河道設定方法、土地利用（水田、畑）の設定方法）について、具体的な改善方法を開発する。
- 開発された手法を適用し、新たに約60河川を対象としたモデル構築を行い、その予測精度を検証する。
- さらに、リアルタイム自動配信システム実装に向けた課題（危機管理型水位計の特性を踏まえた観測水位の同化手法、出水時の計算負荷が集中する際の計算リソースの配分等）について、具体的な方法の開発を行う。

当年度目標	目標の達成状況
降雨量データの組み合わせ方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 解析雨量、速報版解析雨量、降水短時間予報、速報版降水短時間予報の特徴や違いについて全国的な傾向を整理した。 ・ アメダス等の他プロダクトと比較し、その精度を検証した。 ・ 洪水予測に適した各プロダクトの組み合わせ方法について検討し、いくつかの河川においてその効果を検証した。
レジーム則では地形を表現できない場合の河道設定方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測量データ、空中写真等を用いて、河道幅と水深を設定し、モデルに適用する手法を検討・試行した。 ・ 河道幅、水深がレジーム則では表現できなかった河川を事例とし、国土地理院地図およびGoogle航空写真から河道幅と水深を設定し、その結果をレジーム則と比較し、その効果を確認した。 (安価・簡便に河道形状を決定する方法。流域面積に対応して経験的に河道幅、水深が決定される。)
土地利用（水田、畑等）の設定方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水田、畑面積の多い河川を事例とし、水田、畑の流出に関わるパラメータを、デフォルトパラメータから変えて検証を行った。 ・ 水田、畑について、デフォルトパラメータ以外を選択することやパラメータ最適化の対象とする等の方法を整理した。
約60河川を対象としたモデル構築及び予測精度の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ モデル化する60河川の決定のためのデータ収集・整理を行い、モデル化の条件等を整理し、モデル化する河川の選定を行った。 ・ 60河川のモデル構築、SCE-UA法によるパラメータ最適化および粒子フィルターの設定を行った。 ・ パラメータ最適化では洪水規模により最適化の対象期間等を変えること等を検討した。 ・ 洪水中に河床変動が発生していると考えられる河川では、粒子フィルターに逐次H-Q式を推定するアルゴリズムを適用した。 ・ 上記の60河川について精度検証を行うとともに、リードタイムを確認した。
危機管理型水位計の特性を踏まえた観測水位の同化手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流域面積が大中小の3河川を事例河川とし、粒子フィルターによるデータ同化に既存の水位計データに加え、危機管理型水位計データを用いた予測シミュレーションを実施した。 ・ 2地点を同時に評価する方法と、流域を2つに分けて順番に解くカスケード式の方法2ケースについてそれぞれの特徴を整理し、河川の特性に応じて方法を選択することを可能とした。
出水時の計算負荷が集中する際の計算リソースの配分等の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今年度の構築した60河川について、昨年度までに構築した35河川と合わせてリアルタイム自動配信システムに実装した。 ・ また、実装段階において、河川数が増えたことによる出水時のリソース使用状況について確認した。 ・ 加えて、出水時における適切なリソースの割り当て方法に関する検討を行った。

資料4 「観測水位を活用した傾向分析による中小河川の水位情報提供システムの開発」の成果

降雨量データの組み合わせ方法の開発



- 解析雨量、速報版解析雨量、降水短時間予報、速報版降水短時間予報の特徴について全国的な傾向を整理した。
- 実績雨量として、**精度の高い解析雨量と、配信間隔が短く豪雨が補足できる可能性があり、配信遅延の少ない速報版解析雨量を効果的に組み合わせる方法を提案した。**
- 予測雨量として、降水短時間予報のみでなく、配信間隔が短く、配信遅延の少ない速報版降水短時間予報を組み合わせる方法を提案した。
- 提案した組み合わせ方法について、解析に使用できるようプログラムを開発した。

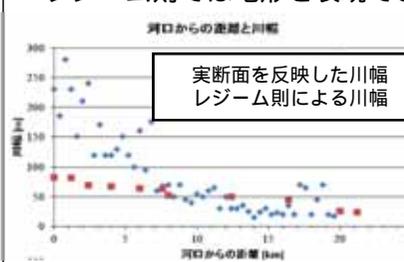
約60河川を対象としたモデル構築及び予測精度の検証

- 新たに60河川について、モデル構築、パラメータ最適化（SCE-UA法）、粒子フィルターの設定を行った。
- パラメータ最適化では**洪水規模により最適化の対象期間等を変えることを検討した。**
- 洪水中に河床変動が発生していると考えられる河川では、**粒子フィルターに逐次H-Q式を推定するアルゴリズムを適用した。**
- 上記の60河川について**精度検証を行うとともに、リードタイムを確認した。**

河川番号	河川名	観測所名	都道府県	河川名	観測所名	都道府県
1	高尾川	高尾川	北海道	11	興井川	大分
2	北見川	北見川	北海道	12	志保川	大分
3	山形川	山形川	青森	13	加茂川	高松
4	柳川	千歳	岩手	14	福田川	徳島
5	甲子川	乳ノ口	岩手	15	藤川	徳島
6	湯川	種別安橋	岩手	16	大川	宮下橋
7	七北田川	小南	宮城	17	市川	岐阜
8	鶴田川	鶴田川	宮城	18	左子川	高松
9	三橋川	森山	秋田	19	高井川	高松
10	屋ヶ崎川	屋ヶ崎	山形	20	河内川	下米元
11	早瀬川	早瀬	福島	21	神奈川	神奈川
12	新田川	新田	福島	22	神川	神奈川
13	小湫川	小湫	福島	23	早見川	山形
14	小湫川	小湫	福島	24	大野川	山形
15	小湫川	小湫	福島	25	大野川	山形
16	小湫川	小湫	福島	26	大野川	山形
17	小湫川	小湫	福島	27	大野川	山形
18	小湫川	小湫	福島	28	大野川	山形
19	小湫川	小湫	福島	29	大野川	山形
20	小湫川	小湫	福島	30	大野川	山形
21	小湫川	小湫	福島	31	大野川	山形
22	小湫川	小湫	福島	32	大野川	山形
23	小湫川	小湫	福島	33	大野川	山形
24	小湫川	小湫	福島	34	大野川	山形
25	小湫川	小湫	福島	35	大野川	山形
26	小湫川	小湫	福島	36	大野川	山形
27	小湫川	小湫	福島	37	大野川	山形
28	小湫川	小湫	福島	38	大野川	山形
29	小湫川	小湫	福島	39	大野川	山形
30	小湫川	小湫	福島	40	大野川	山形

構築済みの60河川

レジーム則では地形を表現できない場合の河道設定方法



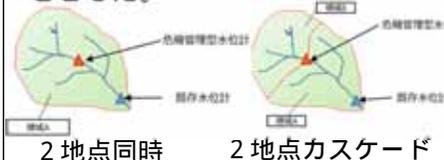
- 洪水解析には、河道幅・水深が必要となり、これまで、安価・簡便に河道形状を決定するためにレジーム則が採用されていたが、その方法では表現できない河道がみられた。
- 河道形状が要因となり精度が得られないと思われるケースについては、必要に応じて**実断面をモデルに反映する方法を開発した。**

土地利用（水田、畑等）の設定方法の開発

- 中小河川においては、土地利用の大半が山地の河川が多く、これまではパラメータ最適化の対象を山地に絞った検討を行ってきた。（その他の土地利用はデフォルトパラメータ）
- しかし、水田や畑の割合が多い河川では、デフォルトパラメータでは十分な再現性が得られないことがある。
- そういった場合は、**実際の土質地質を踏まえた代表パラメータセットの選択や、水田や畑をパラメータ最適化の対象とすることとし、その方法をとりまとめた。**

危機管理型水位計の特性を踏まえた観測水位の同化手法の開発

- 粒子フィルターによるデータ同化に、既存の水位計データに加え危機管理型水位計データを用いた予測シミュレーションを実施した。**
- 2地点を同時に評価する方法と、流域を2つに分けて順番に解くカスケード式の方法2ケースについてそれぞれの特徴を整理し、河川の特性に応じて方法を選択することとした。**



出水時の計算負荷が集中する際の計算リソースの配分等の検討

- 約95河川を対象に、**リアルタイム自動配信システムを適用した。**
- 広範囲で大雨になるなど、多数の河川で同時に出水がある場合には計算負荷が著しく増加し、計算時間がかかることが予想される。**出水時の計算負荷が集中する際の計算リソースの配分（雨が降っていない河川に使われているCPUリソースにスレッドを割り当てる等）、適切な配信の更新間隔等、全国展開するにあたってのシステム設計の課題および対応策について整理した。**

資料5 「観測水位を活用した傾向分析による中小河川の水位情報提供システムの開発」の民間からの貢献及び出口の実績

○民間からの貢献額：3年間で6,500万円相当
 民間技術者の研究参与：約1,500万円（5万円/日×100日/年×3年）
 民間技術者の定例勉強会への参画：約30万円（0.5万円/人×2人/回×30回）
 河道断面、H-Q式等データの整理等：約5,000万円（50万円/河川×約100河川）

令和2年度当初見込み	令和2年度実績
民間技術者の研究参与：約500万円（5万円/日×100日）	当研究開発には民間技術者が研究参与（年間100日）しており、見込み通りの実績が得られている。
民間技術者の定例勉強会への参画：約10万円（0.5万円/人×2人/回×10回）	月1回の定例勉強会に2名以上の民間技術者（FRICS等）が参加しており、見込み通りの実績が得られている。
河道断面、H-Q式等データの整理等：約3,000万円（50万円/河川×60河川 = 3,000万円）	今年度新たに60河川以上のデータ提供があり、見込み通りの実績が得られている。

出口戦略

○洪水予測を行う河川の拡充・精度向上
 現在、洪水予測を行っている都道府県管理河川は128河川。
 PRISM施策により、洪水により相当な損害が生ずるおそれのある約1,500河川への拡大
 オープンデータ化に伴う民間誘発効果
 水位観測・予測情報等を加工・提供等する情報配信事業等の促進。

令和2年度当初見込み	令和2年度実績
洪水予測を行う河川の拡充・精度向上 ・新たに60河川の粒子フィルター付きRRIモデルを構築し、リアルタイム計算システムを適用する ・今後の河川の拡充に向けて、課題を整理しその改善策について検討を行う。	・新たに構築した60河川を含め、これまで約100河川における粒子フィルター付きRRIモデルおよびリアルタイム計算システムを構築した。 ・開発した手法（突然の豪雨等の捕捉、流出解析モデルの再現精度の確保、H-Q式の精度の確保、レジーム則では地形を表現できない場合の河道設定方法、土地利用（水田、畑等）の設定方法、パラメータ最適化の設定方法等）を一部の河川に適用した結果、精度向上やリードタイムの延伸の効果ががみられた。

令和 2 年度成果（参考資料）

モデルの構築及び精度検証の状況

参考

令和2年度に、約100河川で精度の検証を実施。

97の洪水イベントで精度の検証を実施し、うち57イベント(約6割)で既に2時間のリードタイムを確保し、危険な状態の水位に達することを的確に予測。また、残りの22イベントについても、雨の予測が正しければ2時間のリードタイムが確保できていた。引き続き精度向上に努める。

モデル構築の対象河川における精度検証の状況

R2年度までに構築するモデル 約100河川

精度検証済
約100河川(目標達成)

97洪水イベントの精度検証の状況

精度検証を実施した洪水 97イベント

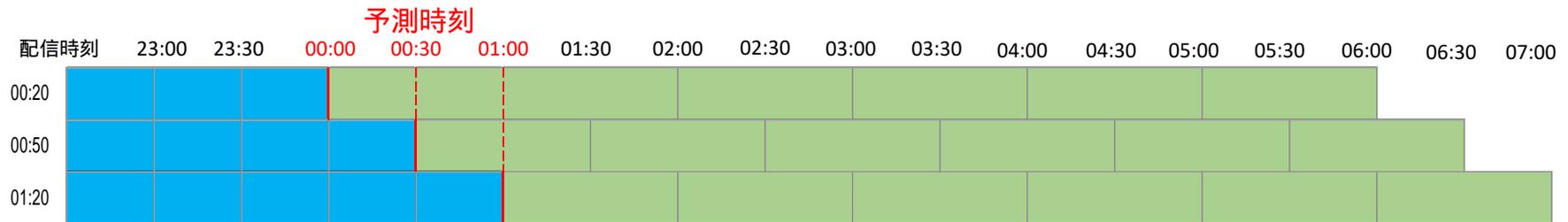
57イベント(約6割)で
目標とする精度を確保

22イベント
雨量が正確に予測され
ている場合に目標とす
る精度を確保

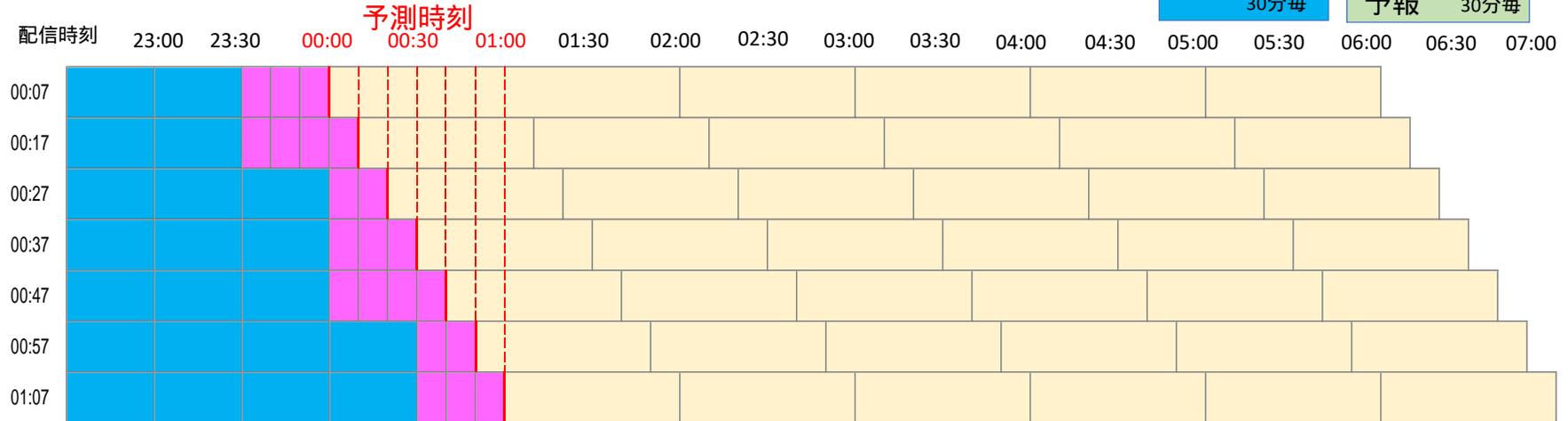
18イベント
2時間のリー
ドタイムが確
保できていな
い

これまで開発してきた精度向上手法の発展等により更なる改善を目指す。

- 解析雨量、速報版解析雨量、降水短時間予報、速報版降水短時間予報の特徴について全国的な傾向を整理した。
- 実績雨量として、**精度の高い解析雨量と、配信間隔が短く豪雨が補足できる可能性があり、配信遅延の少ない速報版解析雨量**を、**効果的に組み合わせる**方法を提案した。
- 予測雨量として、降水短時間予報のみでなく、配信間隔が短く、配信遅延の少ない速報版降水短時間予報を組み合わせる方法を提案した。
- 提案した組み合わせ方法について、解析に使用できるようプログラムを開発した。

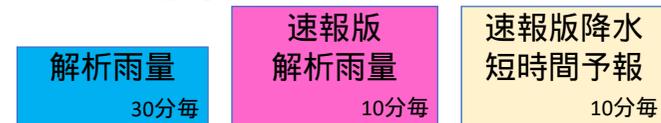


解析解析雨量（従来データ）のみを用いた運用例



速報版解析雨量と解析解析雨量（従来データ）を組合せた運用例

解析雨量は20分、速報版解析雨量の7分の配信遅延をそれぞれ見込んでいる。



- 洪水解析には、河道幅・水深が必要となり、これまで、安価・簡便に河道形状を決定するためにレジーム則¹が採用されていたが、その方法では表現できない河道がみられた。
- 河道形状が要因となり精度が得られないと思われるケースについては、必要に応じて実測断面をモデルに反映する方法を開発した。

実測断面として、国土地理院地図²およびGoogle航空写真から河道幅と水深を設定し、その結果をレジーム則と比較した。(以下は安芸川の事例)

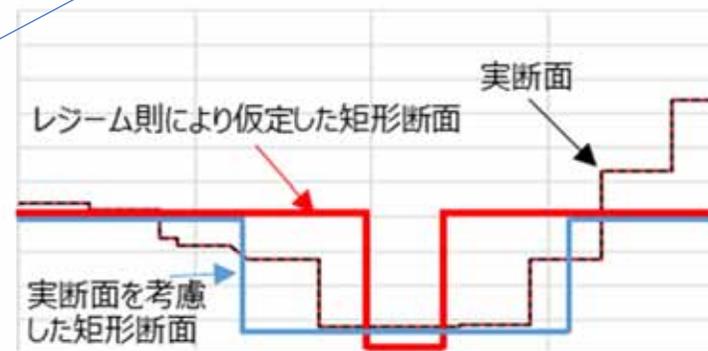
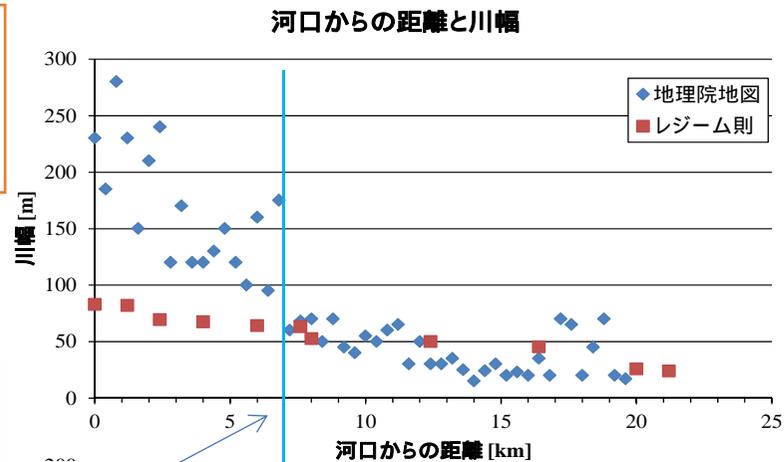
水位観測所から上流はレジーム則と地理院地図は類似しているが、下流は異なることが分かった。

1 レジーム則・・・安価・簡便に河道形状を決定するために採用されている方法。流域面積に対応して経験的に河道幅、水深が決定される。

Width, Depth=Cw × A^{Sw} A:流域面積、Cw,Sw:係数

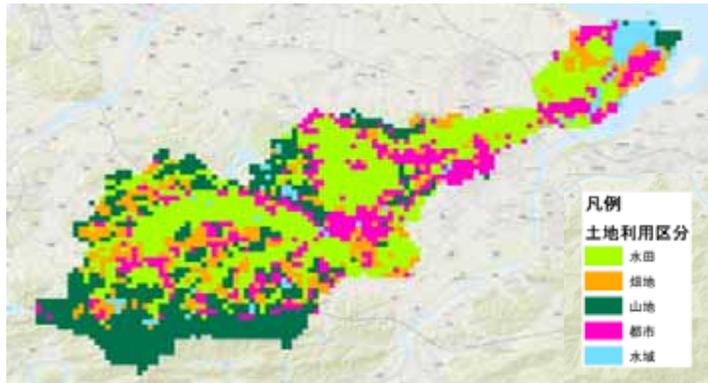
2 地理院地図・・・「航空レーザ測量(LP)」「写真測量」「1/2.5万地形図等高線」を使用して作られる基盤地図情報(数値標高モデル)であり、始点と終点を指定することで断面図を作成できる。

- 二級河川 安芸川(あきがわ)
- 河川管理者: 高知県
- 流域面積: 143.49km²



河道断面の修正 (イメージ)

- 中小河川においては、土地利用の大半が山地の河川が多く、これまではパラメータ最適化の対象を山地に絞った検討を行ってきた。(その他の土地利用はデフォルトパラメータ)
- しかし、水田や畑の割合が多い河川では、デフォルトパラメータでは十分な再現性が得られないことがある。
- そういった場合は、**実際の土質地質を踏まえた代表パラメータセットの選択**や、**水田や畑をパラメータ最適化の対象とする**こととし、その方法をとりとめた。



二級河川外城田川(三重県)は水田が4割と多数を占める



表層地質図等

- ・デフォルトでは畑は「Loam」、水田は「Clay」であるが、表層地質図等を参考に、実際の土質地質を踏まえた代表パラメータに変更する。
- ・さらに、水田や畑をパラメータ最適化の対象とすることも検討。

土質地質による代表パラメータセット

Reference Table : Green-Ampt Infiltration Parameters for different soil texture

Soil texture class	k_r (m/s)	ϕ [gamma _{aa}]	S_f (m)
Sand	6.54E-05	0.437	0.0495
Loamy sand	1.66E-05	0.437	0.0613
Sandy loam	6.06E-06	0.453	0.1101
Loam	3.67E-06	0.463	0.0889
Silt loam	1.89E-06	0.501	0.1668
Sandy clay loam	8.33E-07	0.398	0.2185
Clay loam	5.56E-07	0.464	0.2088
Silty clay loam	5.56E-07	0.471	0.273
Sandy clay	3.33E-07	0.43	0.239
Silty clay	2.78E-07	0.479	0.2922
Clay	1.67E-07	0.475	0.3163

畑
デフォルト



水田
デフォルト

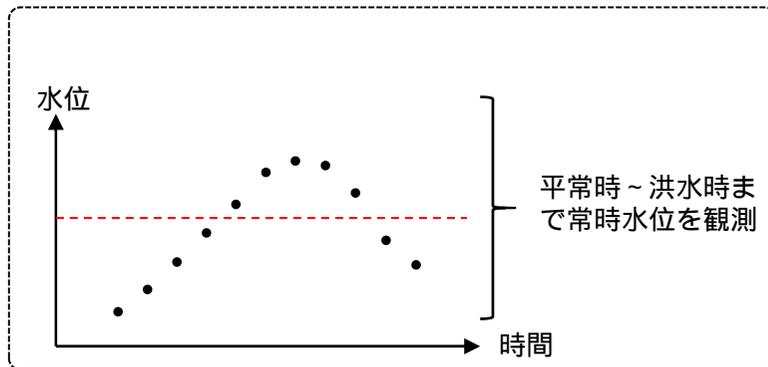
出典 : Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model, ver. 1.4.2, ICHARM, PWRI, Takahiro SAYAMA.

○令和元年度までは、通常水位観測所の観測水位を同化した予測技術の開発が進められてきたところ。また、近年、危機管理型水位計の導入が進められているところ。

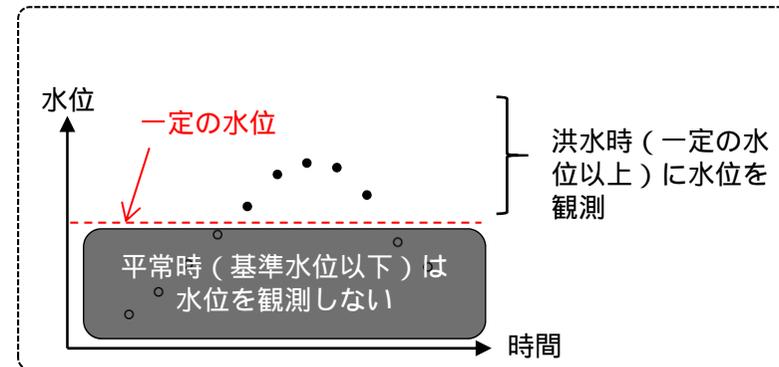
通常水位計と併せて危機管理型水位計データを同化することで、河川水位をより高精度に把握可能となることが期待される。

○危機管理型水位計の特性として、一定の水位以上になった時点で観測を開始する。
観測が開始された時点から観測水位を計算モデルに取り込む(同化する)手法の開発を進めた。

通常水位計



危機管理型水位計



一定の水位以上になった時点で当該地点の観測水位を計算モデルに取り込む(同化する)手法等が必要となる。