

氾濫発生地点の特定精度の違いが 浸水域の予測精度に及ぼす 影響に関する研究

2025年6月20日 河川技術シンポジウム

(一財) 河川情報センター
(一財) 河川情報センター
(一財) 河川情報センター
(一財) 河川情報センター・兵庫県立大学大学院客員教授
(一財) 河川情報センター
(一財) 河川情報センター
(一財) 河川情報センター理事長・東京大学名誉教授

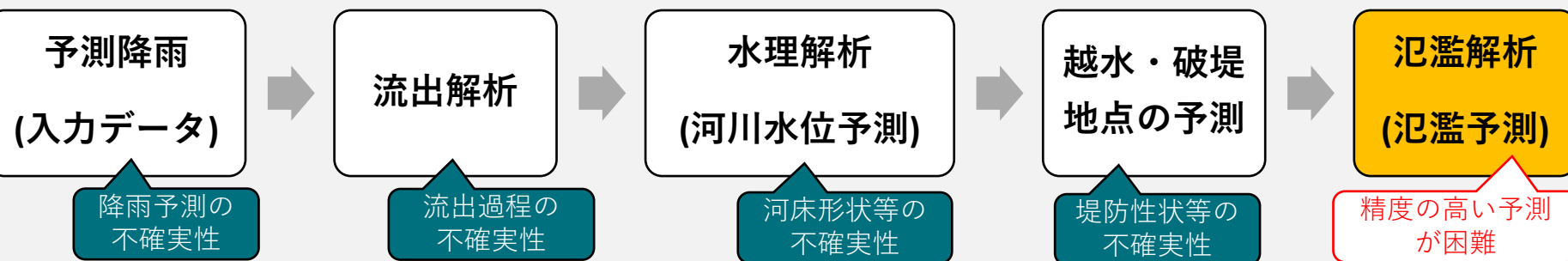
久保英二郎	修士 (工)
船橋 昇治	
銭 潮	
田中 耕司	博士 (工)
中安 正晃	
朝堀 泰明	修士 (工)
池内 幸司	博士 (工)

近年、気候変動の影響により、豪雨災害の発生頻度が高くなっていることが一般に指摘されている⇒「洪水予測」に関する技術開発が官民を挙げて行われている。

特に氾濫(浸水域)の予測に着目すると、

●河川水位予測の延長としての氾濫域を予測する場合

避難のためのリードタイムを長くとることができる。一方で、降雨・河道形状・堤防性状等に不確実性が内在するため、精度の高い予測が困難である



●氾濫したという事実立足し、氾濫域を予測する場合

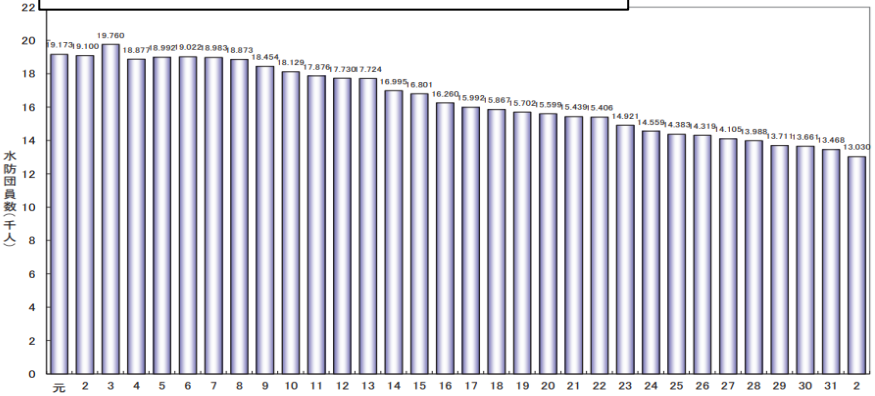
避難のリードタイムは短くなるが、確度の高い予測が可能になると考えられる



氾濫したという事実に立脚し、氾濫域を予測する場合：過去事例

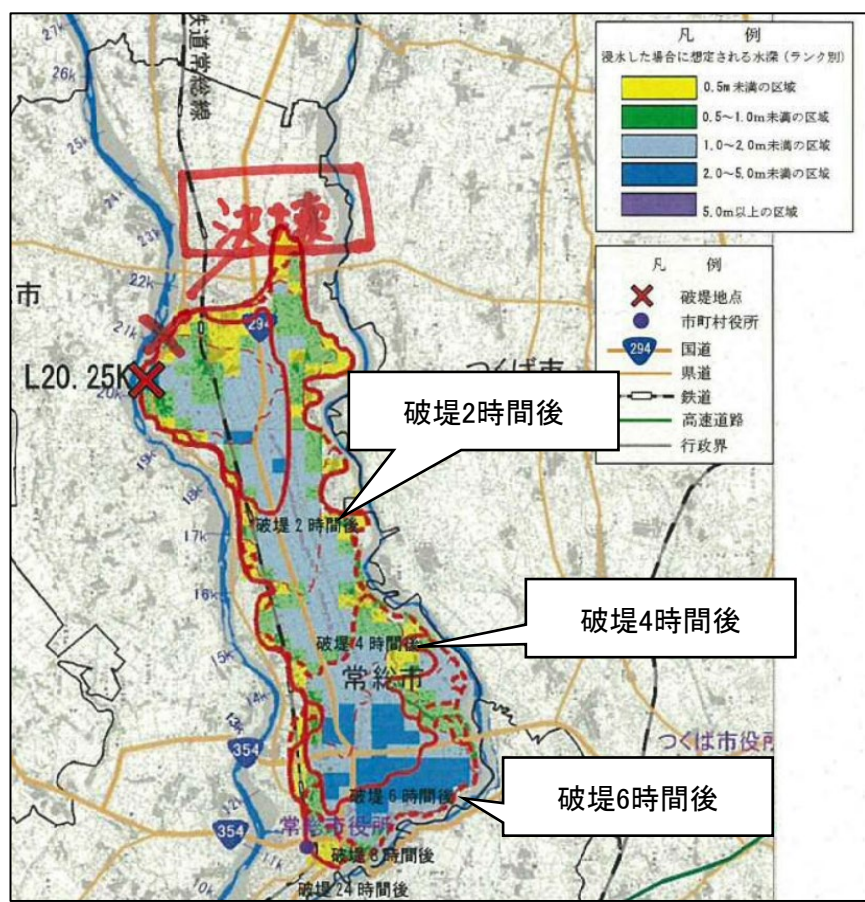
- 2015年関東・東北豪雨において、鬼怒川の決壊直後、国土交通省関東地方整備局は当該決壊箇所からの氾濫域の予測情報を公開している。
- 一方で、水防団員は経年的な減少傾向にある。このことから今後、決壊・越水等の災害に関わる目視情報等は減少していく可能性がある。
 → 災害情報を取得にあたって、自動化等の労力低減が求められる。

水防団員数の推移



出典：内閣府 令和4年版防災白書

鬼怒川決壊直後の発表資料



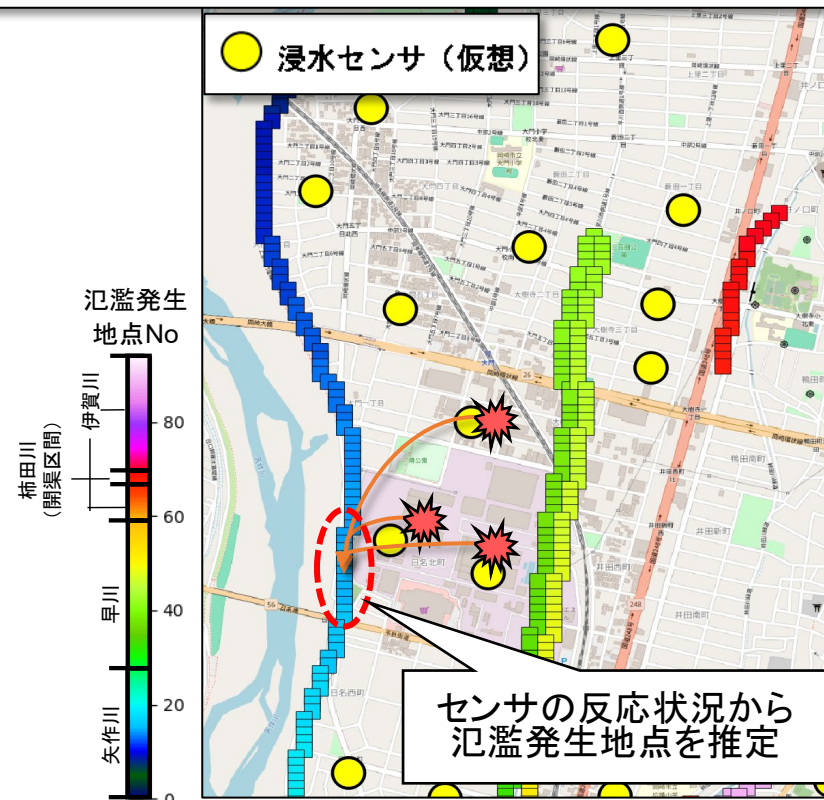
平成27年9月関東・東北豪雨における対応の記者発表(9月)
<https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000174.html>

- 著者らは**氾濫発生地点を機械的に取得するための研究**として、浸水センサのデータと簡易な機械学習を組み合わせ“**氾濫発生地点の推定手法**”を構築した。
- その結果、**概ね200m程度の誤差範囲であれば50～60%程度、概ね400m程度の誤差範囲であれば60～70%程度の精度**で氾濫発生地点を特定することができた。

問題点

- 住民避難に資する浸水域の予測を行うためには、**どの程度の精度で氾濫発生地点を特定する必要があるのか**、という観点において議論が欠けていた(概ね200m,400mの誤差は許容できるのか)。

浸水センサと簡易な機械学習を組み合わせた
氾濫発生地点の推定手法 イメージ



課題

- 氾濫発生地点(越水・溢水・決壊地点)を自動的に把握する方法として様々な取り組みが存在するが、実用的な技術を開発するためには、**どの程度の精度(どの程度の解像度)で氾濫発生地点を特定すること**を目標にすべきか、を検討するべきである。
- そのために**氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測精度の関係**を分析できるようにする必要がある。

本研究の目的

- 氾濫発生地点の特定精度(解像度)が浸水域の予測に与える影響を明らかにし、より高い精度の氾濫予測に寄与することを目的とする。
- そのための**氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測精度の関係**に対する分析手法を構築する。

2. 氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測性能の関係に対する分析手法の構築

氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測性能の関係を分析する手法（プロセス）を構築した。



3. 実氾濫原における氾濫の進行特性の分析 ～ 4. 氾濫発生地点の特定手法の構築

2.にて構築した手法を実氾濫原を対象に検証した。
検証結果に基づき、氾濫発生地点の特定精度に応じた浸水域の予測性能について考察した。



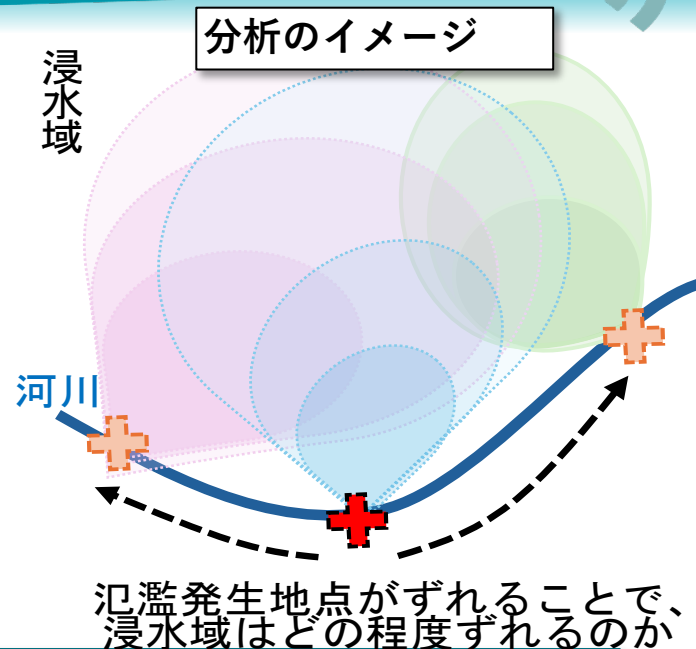
5. まとめ

本研究の成果及び今後の発展性等についてまとめ

2. 氾濫発生地点の特定精度と 浸水域の予測性能の関係に対する 分析手法の構築

・**氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測精度**の関係に対する分析手法を検討した。

・分析にあたって、以下の課題があげられる。



氾濫(解析)データの(統計)解析への適用性 (計算機の制約)

- ✓ 氾濫(解析)の計算データ自体、メッシュ数×タイムステップ数、を要素数とする多次元データである。これらのデータを多変量解析等への適用を検討した際に、一般的な計算機ではRAM容量等の制約を受ける。

“氾濫発生地点の特定精度”の定義の一般性

- ✓ 氾濫流の進行特性は氾濫発生地点によって異なる。そのため「氾濫発生地点の真値と推定値の差分」を【氾濫発生地点の特定精度】と定義することは一般性を損なう例)「氾濫発生地点の推定値が **00m ズレた** 場合、浸水域を **XXm²** 見逃しがあった」という情報は特定の条件のみでの値であり、全国一般的な議論としては不適切

氾濫(解析)データの(統計)解析への適用性への対応： Proper-Orthogonal-Decomposition※(POD)を用いた次元縮約

流体解析の分野において、実験や数値シミュレーションで得られる時空間データの中から特徴構造を取り出す手法としてPOD等の縮約手法が提案されている。

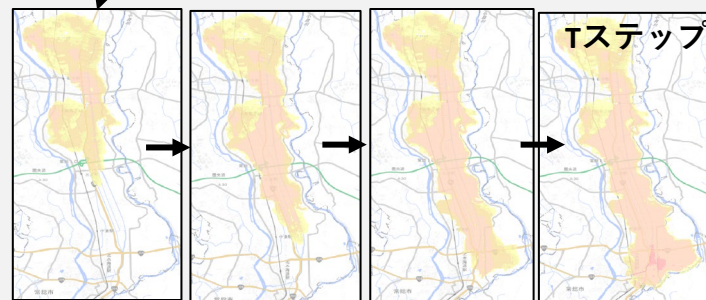
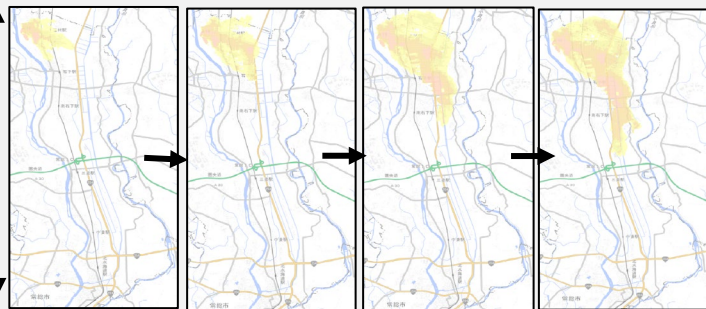
本研究においては、浸水深時系列の時間方向を縮約することで、氾濫進行特性に対する特徴量を抽出し、低次元化することで多変量解析への適用性を高めるために実施。

※Berkooz, G., Holmes, P., & Lumley, J. L. The Proper Orthogonal Decomposition in the Analysis of Turbulent Flows. Annual Review of Fluid Mechanics, 25(1), pp.539-575, 1993.

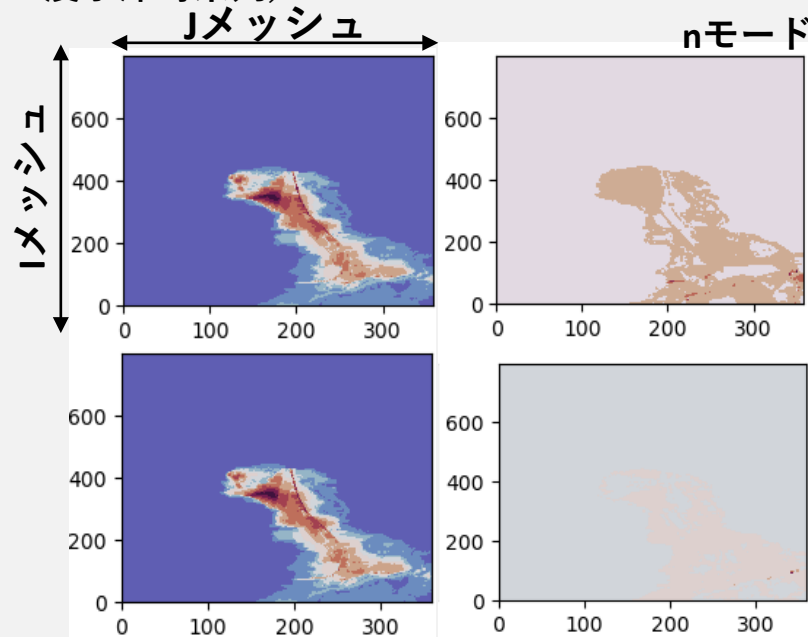
※市川温, 樫あゆみ, 田中智大, 萬和明, キムスンミン, 立川康人：固有直交分解と離散型経験的補間法を用いた縮約型洪水氾濫モデルの開発, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.77, No.2, I_937-I_942, 2021.

PODを用いた氾濫解析モデルの縮約イメージ

氾濫解析結果
(浸水深時系列)
Jメッシュ
 $H \in R^{I \times J \times T}$ ステップ



POD基底
(縮約後の
浸水深時系列)
 $H' \in R^{I \times J \times n}$ モード



“氾濫発生地点の特定精度”の定義の一般性への対応：Ward法※による階層構造を背景とした氾濫発生地点の精度(分割数・解像度)の設定

PODから得られた氾濫の進行特性に対してward法を適用することで、氾濫の進行特性の類似性を階層構造として表現した。これを用いることで、氾濫発生地点の特定精度を設定するうえでの数理的裏付けとした。

氾濫発生地点の違いが及ぼす 氾濫の進行特性のイメージ

氾濫発生地点
(推定)

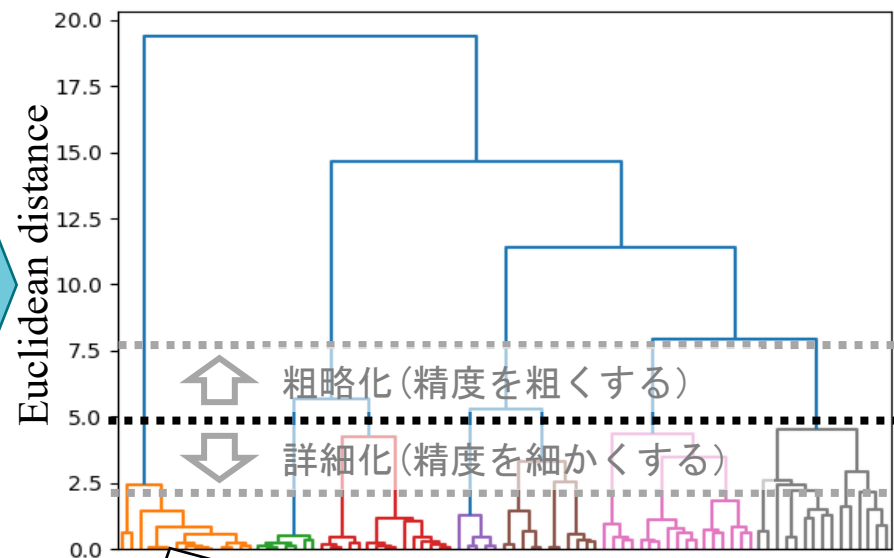
氾濫発生地点
(真値)

氾濫発生地点
(推定)

距離は遠いが浸水域
は概ね類似している

距離は近いが浸水域
の乖離が大きい

氾濫発生地点に応じた 氾濫進行特性の階層化イメージ



氾濫発生地点の特定精度を単純な距離から設定することはできない。
氾濫進行特性の類似性に基づき氾濫発生地点を大別可能とすることで精度（解像度）を定義する

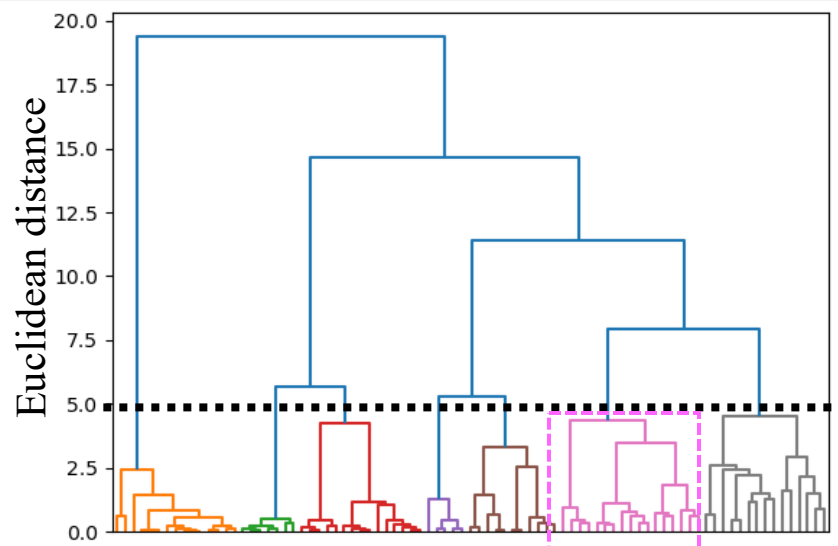
氾濫発生地点の解像度に応じた予測精度の評価

- ・同一クラスタに属する解析ケース間での浸水深時系列の違いを比較・分析する。
- ・各氾濫解析結果から災害時要援護者に対する避難が困難となる浸水深0.3m※以上となるメッシュ（以下、避難困難メッシュという）を抽出し、精度、見逃し率を分析する。

→ 氾濫発生地点を大別（大まかに同一視）した場合に、重要な浸水域をどの程度見落とすか？

※国土交通省 水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25試行版）,2013.

氾濫発生地点の特定精度（解像度）の設定イメージ



氾濫発生地点の特定精度（解像度）を設定したのち、同一クラスタ内の解析ケースから3時間後の浸水深を比較し、予測性能を評価する。

氾濫発生地点の特定精度（解像度）に基づく浸水域の予測性能の評価

Cluster-A

氾濫発生地点=No.1, No.2, No.4, No.5 ...

混同行列

氾濫発生地点No. 2

		浸水深0.3m以上	浸水深0.3m未満
氾濫発生地点No. 1	浸水深0.3m以上	True Positive:TP	False Positive:FP
	浸水深0.3m未満	False Negative:FN	True Negative:TN

$$\text{精度} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$$

$$\text{見逃し率} = \frac{FN}{TP+FN}$$

同一クラスタに属する全てのデータの組み合わせに対してこれらの性能評価指標を算出する

2. 氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測性能の関係に対する分析手法の構築

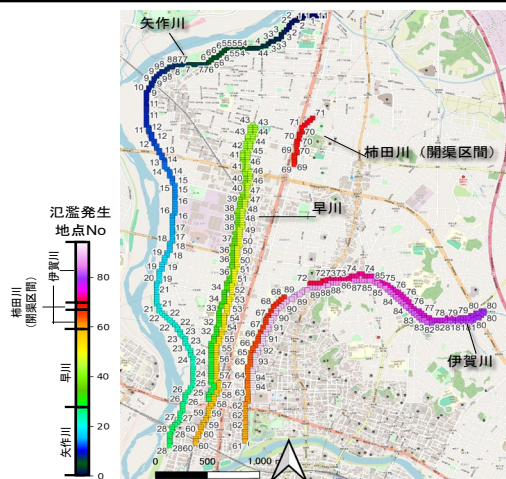
11

以上の手法を用いて氾濫発生地点の特定精度を変化させた場合に、浸水域の予測性能(精度・見逃し率)がどの程度変化するのかを分析するプロセスを構築した。

氾濫発生地点の特定精度と浸水域の予測性能の分析プロセス

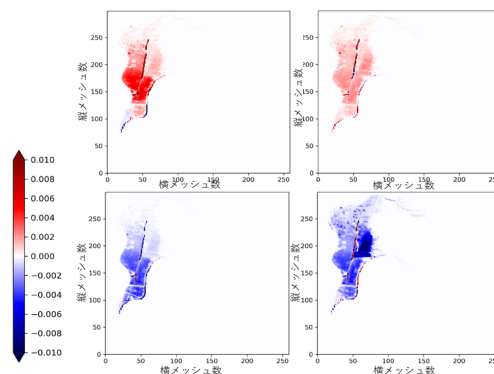
氾濫発生地点別の氾濫解析

各地点200m程度の幅を設定し、
3時間分の氾濫解析を実施



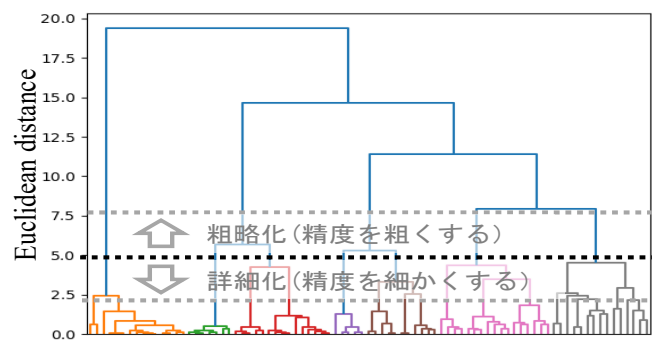
氾濫の進行特性の抽出(POD)

地点別の氾濫解析結果にPODを
適用し、氾濫の進行特性を抽出



氾濫の進行特性に基づく氾濫発生地点の類似性の階層化(ward法)

氾濫の進行特性に基づきward法を適用し、
氾濫発生地点の類似性を階層化



氾濫発生地点の解像度に応じた予測精度の評価

氾濫発生地点の特定精度(解像度)に基づき、同一クラス内の
氾濫解析ケースを比較し、予測
性能を評価する

Cluster-A

氾濫発生地点=No.1, No.2, No.4, No.5 ...

混同行列

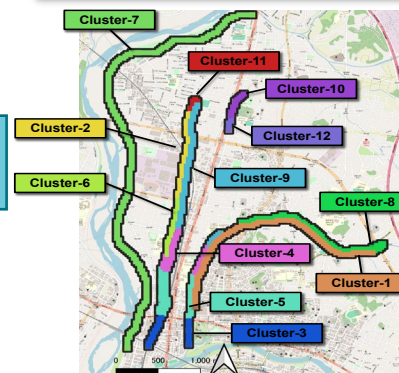
氾濫発生地点No. 2

		浸水あり	浸水なし
氾濫発生地点 No. 1	浸水あり	True Positive:TP	False Positive:FP
	浸水なし	False Negative:FN	True Negative:TN

$$\text{精度} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$$

$$\text{見逃し率} = \frac{FN}{TP+FN}$$

階層構造に基づく氾濫発生地点の精度(解像度)の設定



階層構造に基づき氾濫発生
地点を大別化
(氾濫発生地
点の解像度を
設定)

3. 実氾濫原における氾濫の 進行特性の分析

3. 実氾濫原における氾濫の進行特性の分析

13

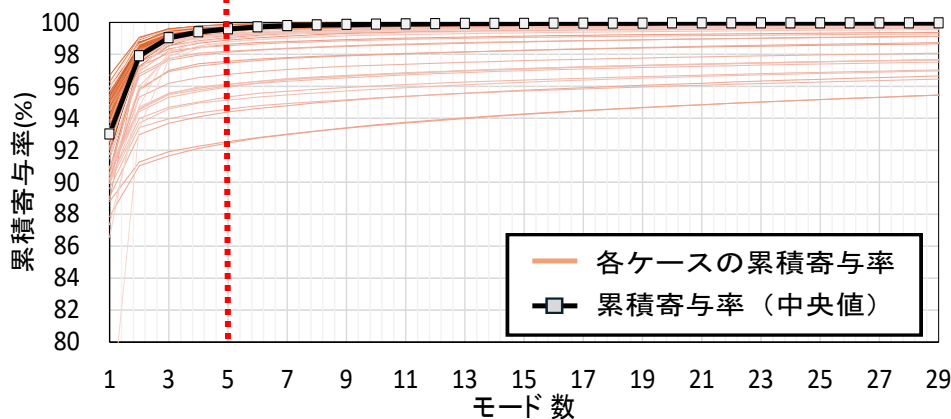
- ・実氾濫原を対象に本提案手法を適用した。

- ・愛知県岡崎市を対象に全94地点からの氾濫解析を実施し、PODによる氾濫の進行特性を抽出した。

- ・POD基底としては、元データに対する説明性(累積寄与率)を考慮しつつ、5モードを抽出した。

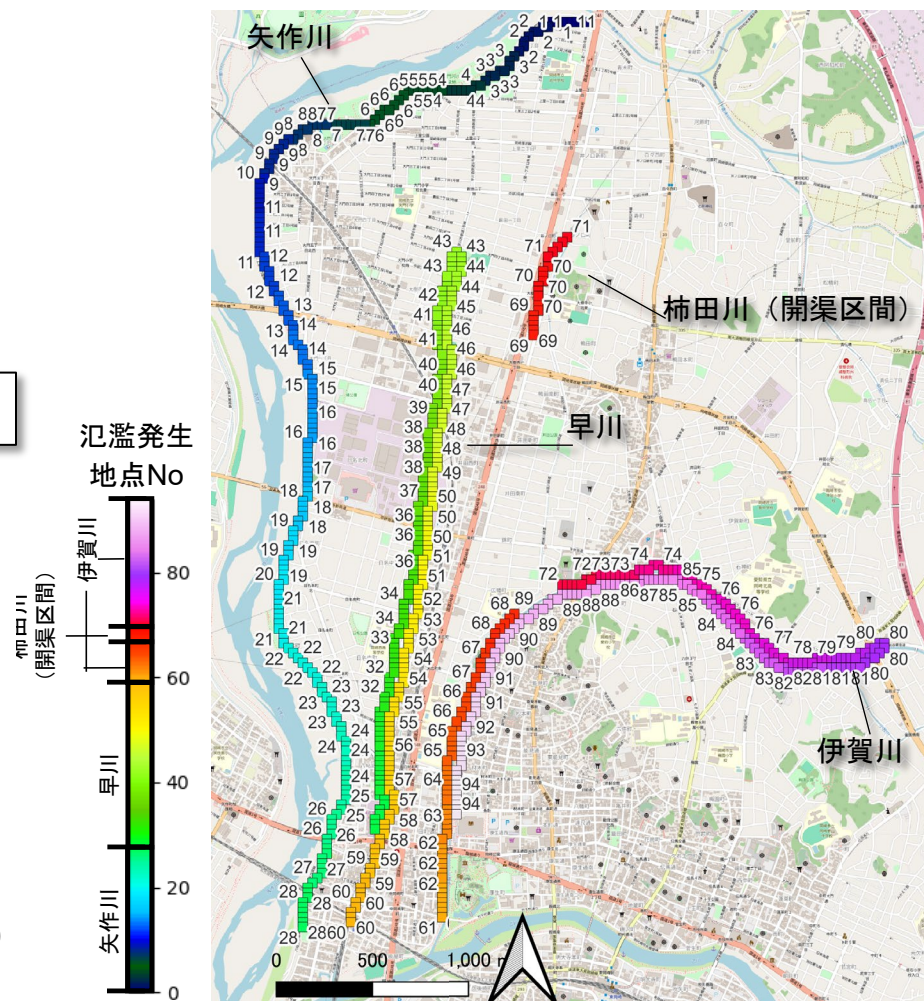
(参考)PODのモード数に対する累積寄与率

PODモード数として5モードを設定



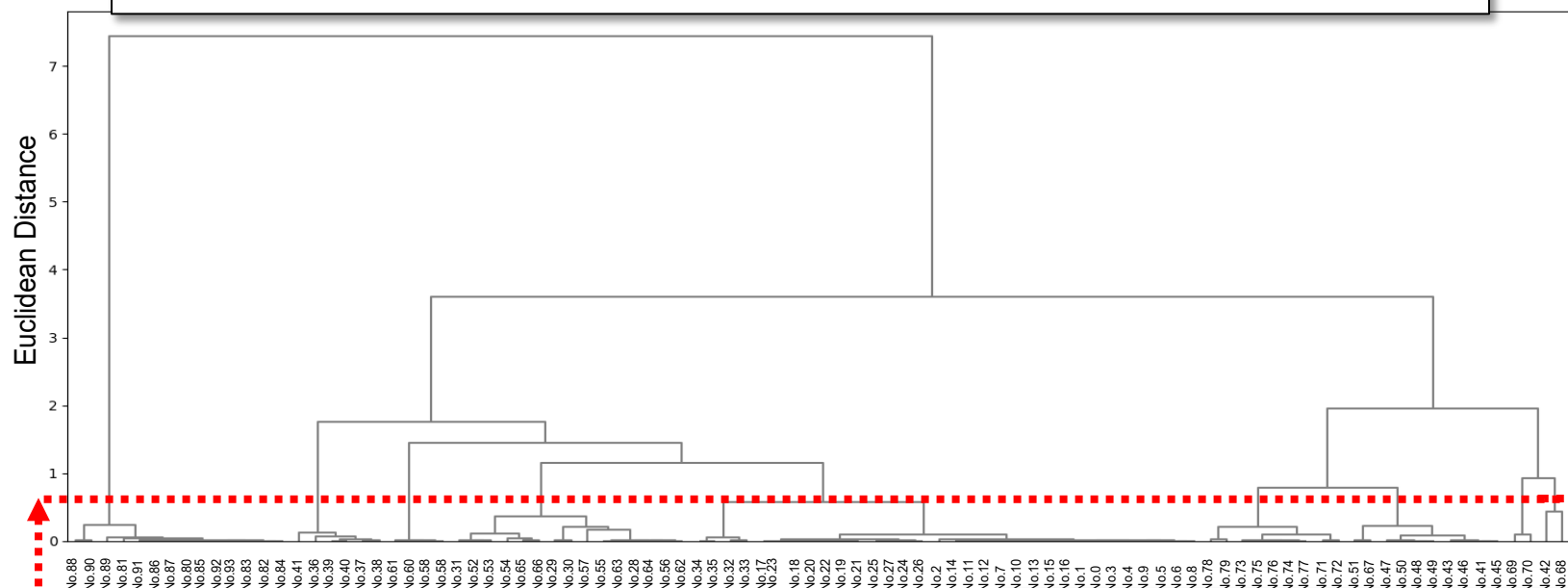
対象領域

- ・対象範囲: 愛知県岡崎市
- ・周辺河川: 矢作川その他都市河川(3河川)からの氾濫を考慮
- ・氾濫発生地点数: 94地点を設定



3. 実況氾濫原における氾濫の進行特性の分析

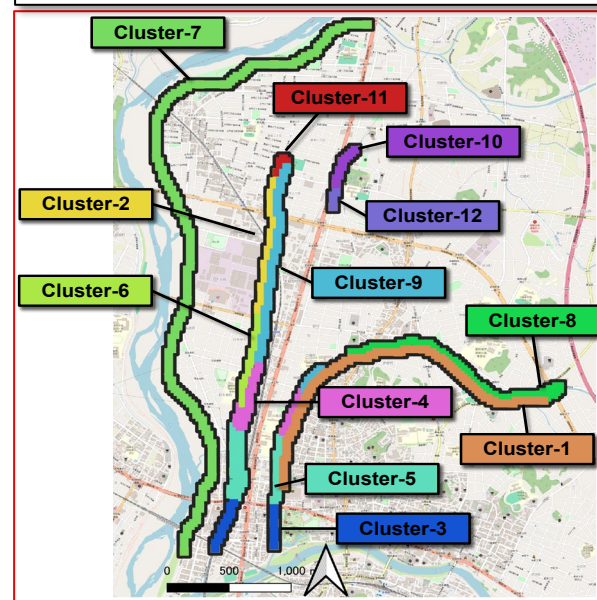
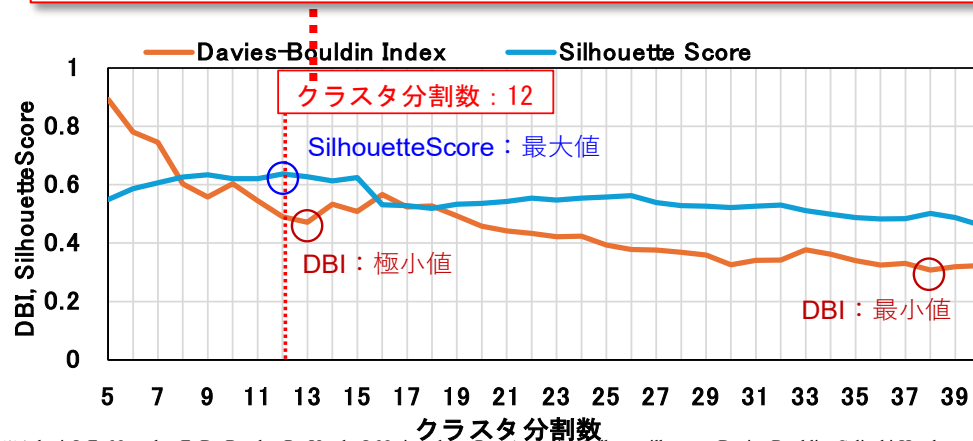
氾濫の進行特性に基づく氾濫発生地点の類似性の階層構造



氾濫発生地点No.

氾濫発生地点の大別結果

DBI値、Silhouette Score※を参考に
氾濫発生地点を大別化（解像度を設定）



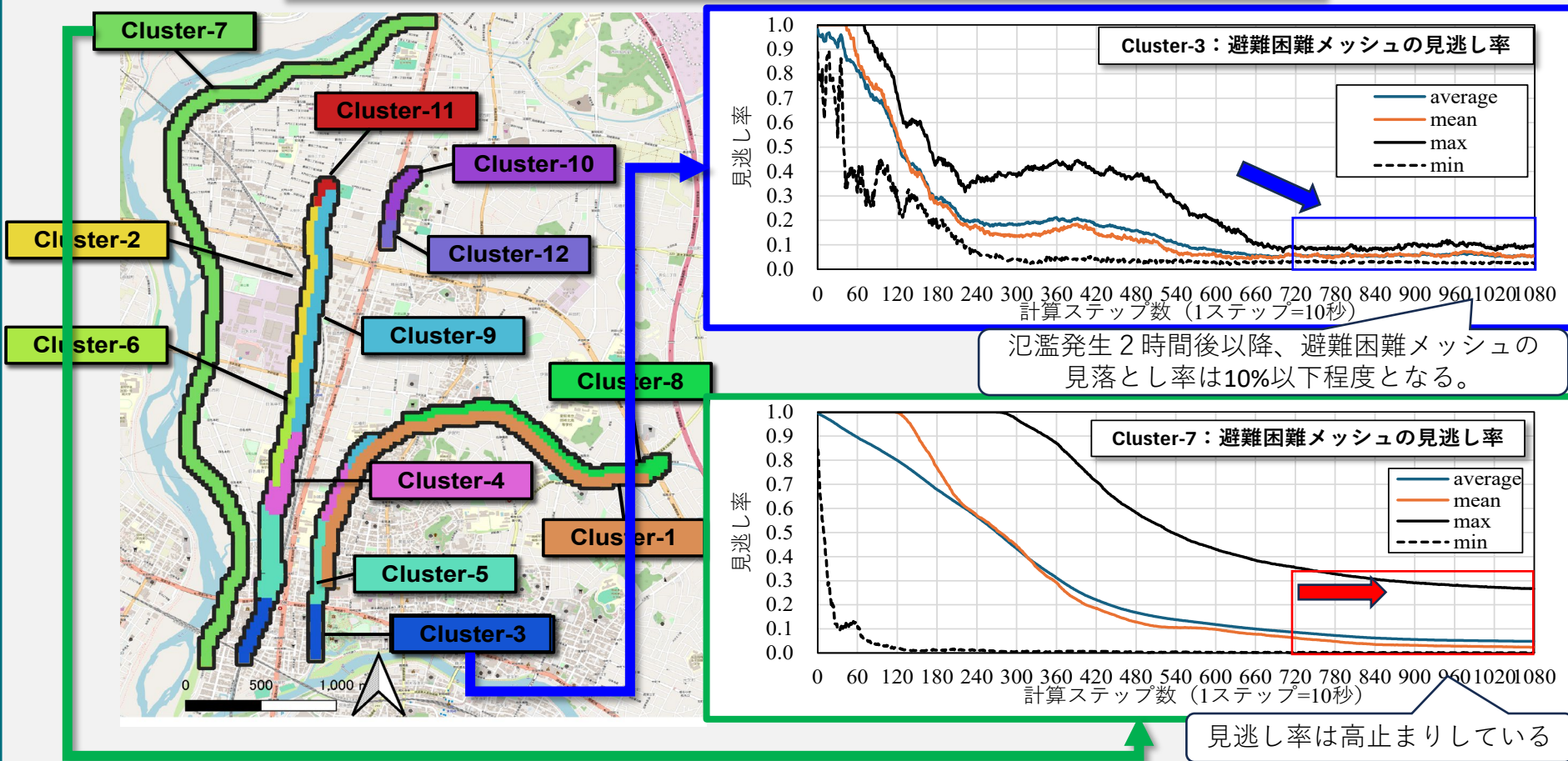
4. 氾濫発生地点の特性精度と 予測性能の検証

検証結果 1：客観指標を用いた分割結果における浸水域の予測性能評価

DBI値・Silhouette Score等を参考に、氾濫発生地点を12クラスターに大別した。

- ・氾濫発生後、時間の経過とともに、浸水箇所に類似が見られる。
- ・一部のクラスター(クラスター7等)は、あまりに粗略的な分割となっており、重要な浸水域を見逃すリスクが高止まりしている状況が確認された。

12クラスターに大別した場合の浸水域の予測性能評価



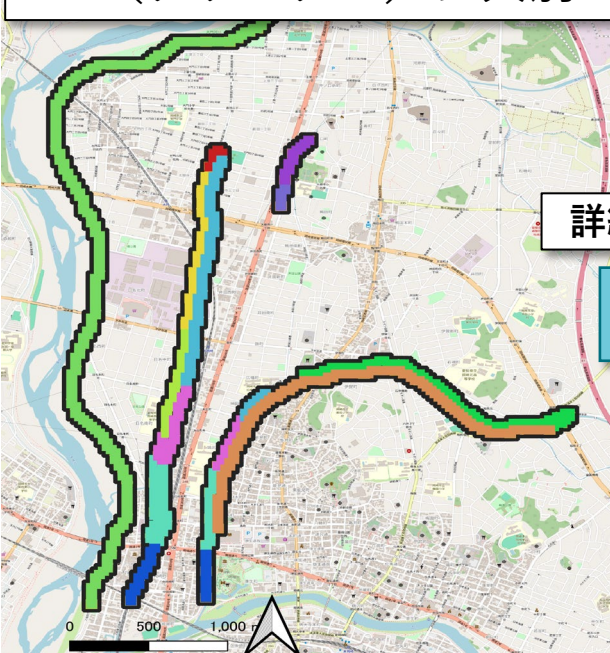
検証結果 2：客観指標を用いた分割結果における浸水域の予測性能評価

- ・氾濫発生地点の分割を詳細化していき、避難困難となる浸水メッシュの見逃し率が10%以下となる程度の精度を確認した。
- ・(浸水メッシュの見逃し率を10%まで許容した結果) 氾濫発生地点を70分割＝元の地点数94に対して25%程度の粗略化 することが可能となることが確認できた。

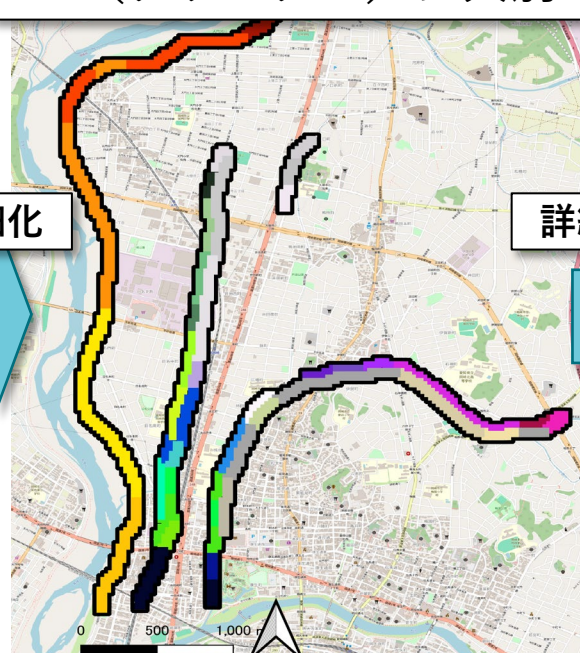
12（クラスター）に大別

40（クラスター）に大別

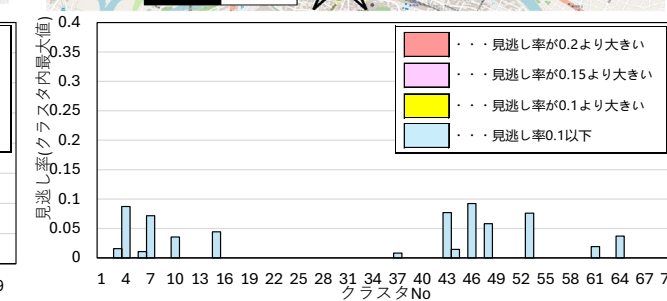
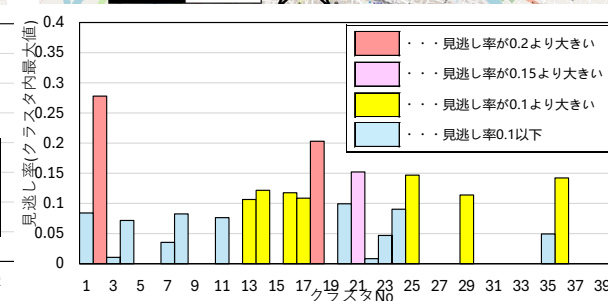
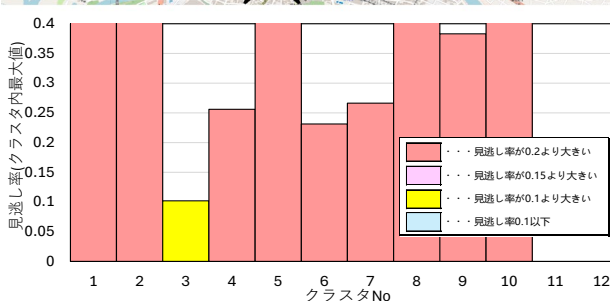
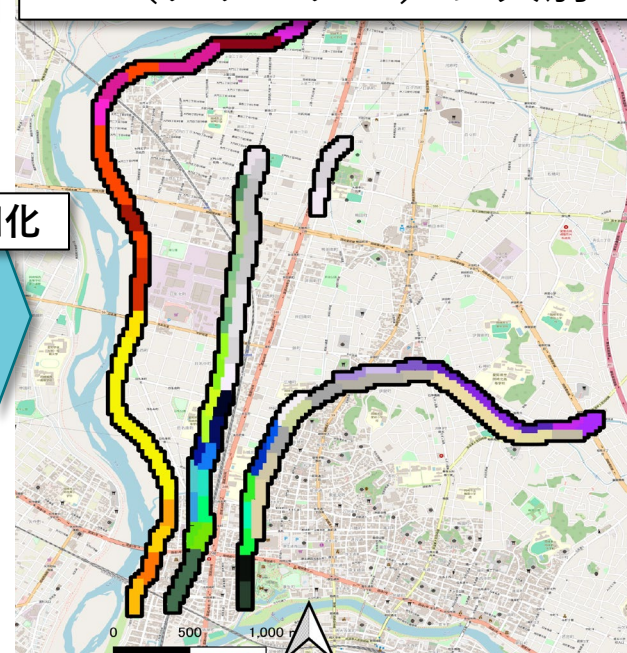
70（クラスター）に大別



詳細化



詳細化



5. まとめ

- 氾濫解析により得られた浸水深時系列分布に対して、PODを用いることで氾濫の進行特性を低次元空間に表現することができた。この結果に基づき相関解析やward法等への多変量解析への適用ができた。
- ward法を用いることで氾濫発生地点別の氾濫の進行特性を類似度に応じた階層構造で把握することができ、氾濫発生地点の大別が可能となった。この結果に基づき、本研究においては200mを最小ピッチとして氾濫発生地点の特定精度(解像度)を定義することが可能となった。
- 愛知県岡崎市での検証では、氾濫発生地点を一般的な河道測量間隔から25%程度粗略化しても、浸水予測における避難困難箇所の見逃し率は10%未満であることが分かった。
- 今後は、本研究の成果を基に、氾濫発生地点の特定手法のさらなる高度化に取り組んでいく予定である

- ・国土交通省：ワンコイン浸水センサ実証実験,<https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/wankoinsensa/index.html>,2025年3月閲覧.
- ・気象庁：洪水の予報業務許可等の申請の手引き,2023.
- ・国土交通省 関東地方整備局：鬼怒川左岸21k付近の堤防が決壊, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000631365.pdf
- ・上芝卓也, 藤井夢佳, 吉松直貴, 高桑紀之, 山崎航, 諏訪部順：全国109水系の洪水浸水シミュレーションのWeb公開に向けた取組について, 日本地理学会発表要旨集, 2018.
- ・内閣府：令和4年版防災白書, <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r4.html>, 2025年3月閲覧.
- ・国土交通省 関東地方整備局：越水・決壊センサーの開発整備, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000834111.pdf, 2025年3月閲覧.
- ・久保英二郎, 勝原亮介, 船橋昇治, 田中耕司, 中安正晃, 朝堀泰明, 小山直紀, 池内幸司, 山田正：浸水センサの反応順序に着目した破堤・越水箇所特性手法に関する研究, 河川技術論文集,第30巻, pp.561-566,2024.
- ・池内幸司, 越智繁雄, 安田五郎, 岡本次郎, 青野正志：大規模水害時の氾濫形態の分析と死者数の想定, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.67,No.3,133-144,2011.
- ・Berkooz, G., Holmes, P., & Lumley, J. L.The Proper Or-thogonal Decomposition in the Analysis of Turbulent Flows. Annual Review of Fluid Mechanics, 25(1), pp.539-575,1993.
- ・Ward, J.H：Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, Journal of the American Statistical Association, Vol.58, No.301, pp.236-244, 1963.
- ・市川温,櫛あゆみ,田中智大,萬和明,キムスンミン,立川康人：固有直交分解と離散型経験的補間法を用いた縮約型洪水氾濫モデルの開発, 土木学会論文集B1(水工学),Vol.77,No.2,I_937-I_942,2021.
- ・Ashari, I. F., Nugroho, E. D., Baraku, R., Yanda, I. N., iwardana, R.：Analysis of elbow, silhouette, Davies-Bouldin, Calinski-Harabasz, and rand-index evaluation on k-means algorithm for classifying flood-affected areas in Jakarta. Journal of Applied Informatics and Computing, Vol.7(1), 95-103, 2023.
- ・国土交通省 水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25試行版）,2013.
- ・岡崎市:浸水実績図, <https://www.city.okazaki.lg.jp/1100/1185/1202/p007128.html>, 2025年3月閲覧.