

2025年度河川技術シンポジウム
開催期日：2025年6月19日～6月20日
場所：土木学会

気候変動下における多様な 降雨の時空間分布パターンの数値化手法の検討

国土技術政策総合研究所 河川研究部

○山地秀幸 竹下哲也

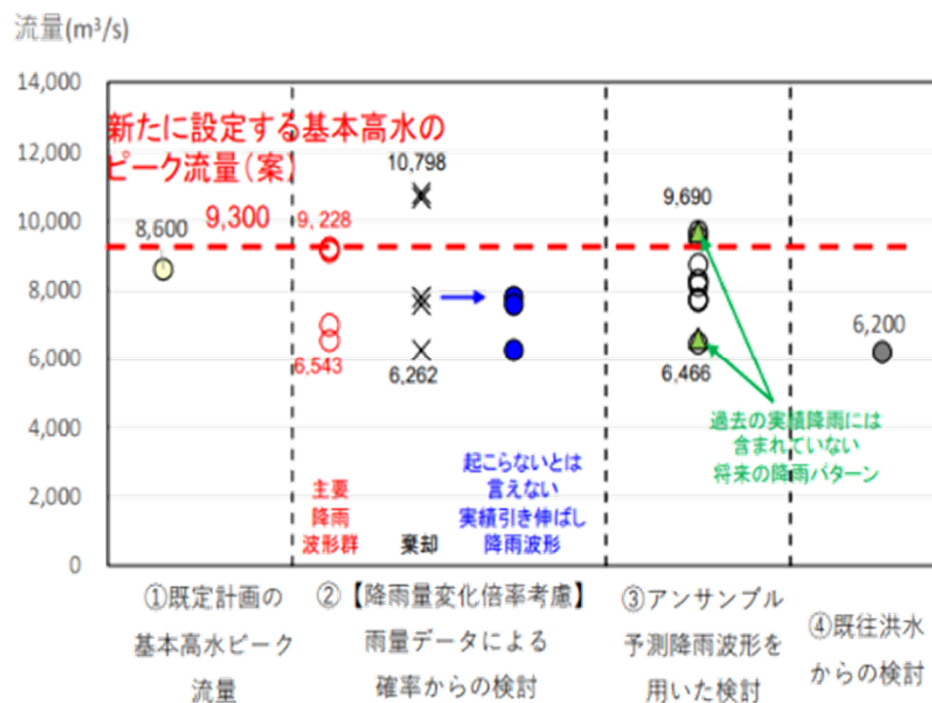
発表内容

1. 研究の背景・目的
2. 使用データ
3. 降雨の時空間分布のクラスター分析
4. 時間集中度・空間集中度
5. 考察
6. 結論

1. 研究の背景・目的

- 気候変動による降雨外力の増大を考慮した河川整備基本方針の見直しにあたっては、アンサンブル気候予測データを用いて、ウォード法によるクラスター分析を実施することにより、主要洪水群に不足している降雨の空間パターンを確認しつつ、最終的に既往洪水のうち1つの降雨波形に降雨量変化倍率を乗じることで、河川の基本高水を設定している。

基本高水の設定に係る総合判断（中角地点）



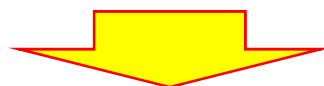
クラスター分析結果



※国土交通省 水管理・国土保全局「九頭竜川水系河川整備基本方針の変更に係る説明資料」（令和5年12月）より引用

1. 研究の背景・目的

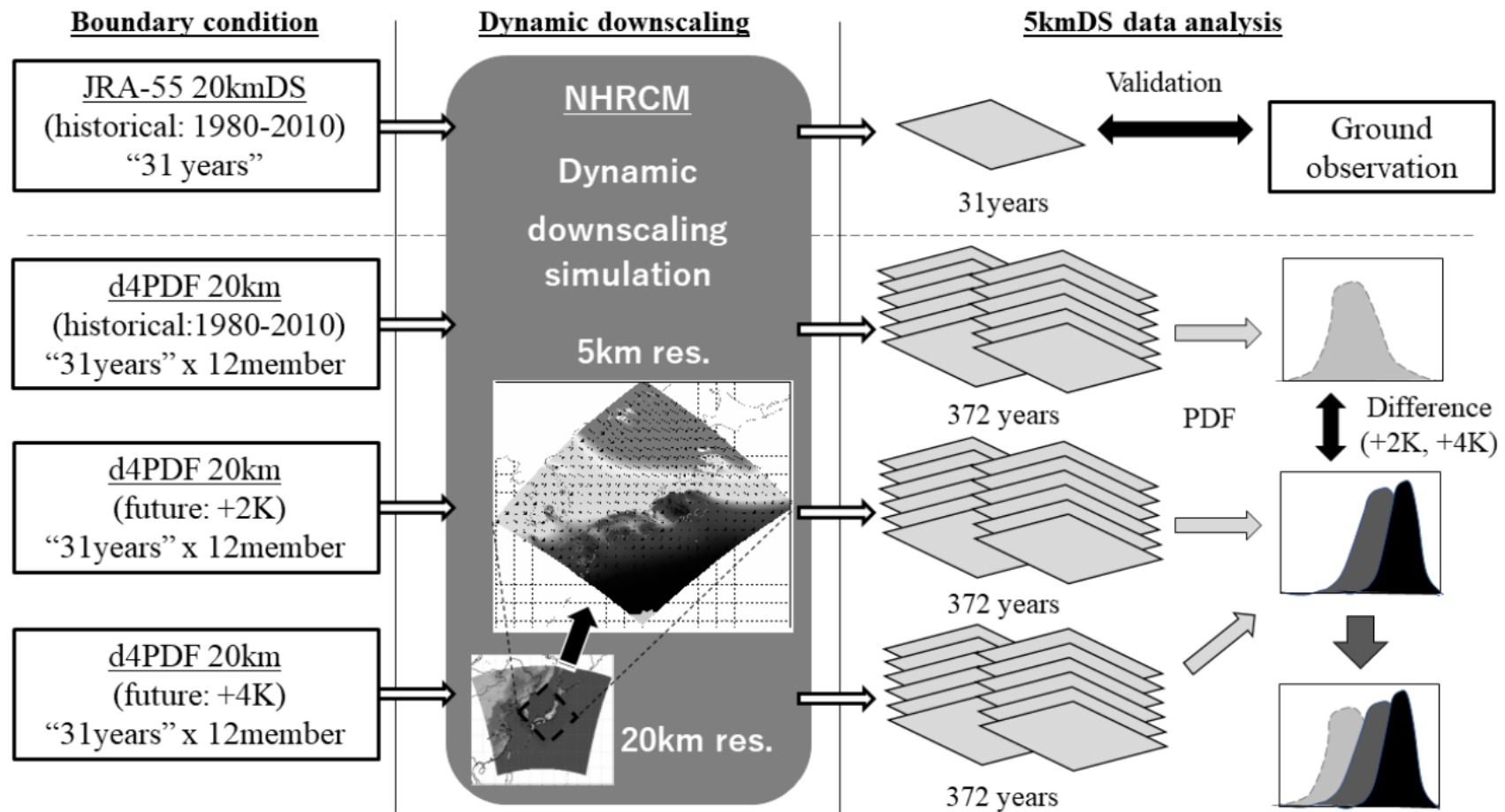
- 気候変動下では、本川に影響を与える降雨だけでなく、支川や一部の集水域に対し局所的に影響を与える降雨の発生が想定され、多様な降雨の時空間分布パターンの将来変化を捉える必要がある。
- 河川整備基本方針の見直し時に実施しているクラスター分析は、降雨の空間パターンを対象としたものであり、降雨のハイトグラフや空間パターン図を別々に目視するだけでは、降雨の時空間分布パターンの特徴把握が難しい。



- 自己組織化マップによる降雨の時空間分布のクラスター分析を行い、気候変動下における多様な降雨の時空間分布パターンを整理。
- 所得格差の指標として用いられるジニ係数を応用し、降雨の時空間分布の時間的・空間的な集中度（時間集中度・空間集中度）を数値化する方法を検討。
- 自己組織化マップ及びジニ係数を活用した降雨の時空間分布パターンの数値化手法について、治水上考慮すべき降雨の時空間分布パターンの抽出の有効性の観点から考察を行った。

2. 使用データ

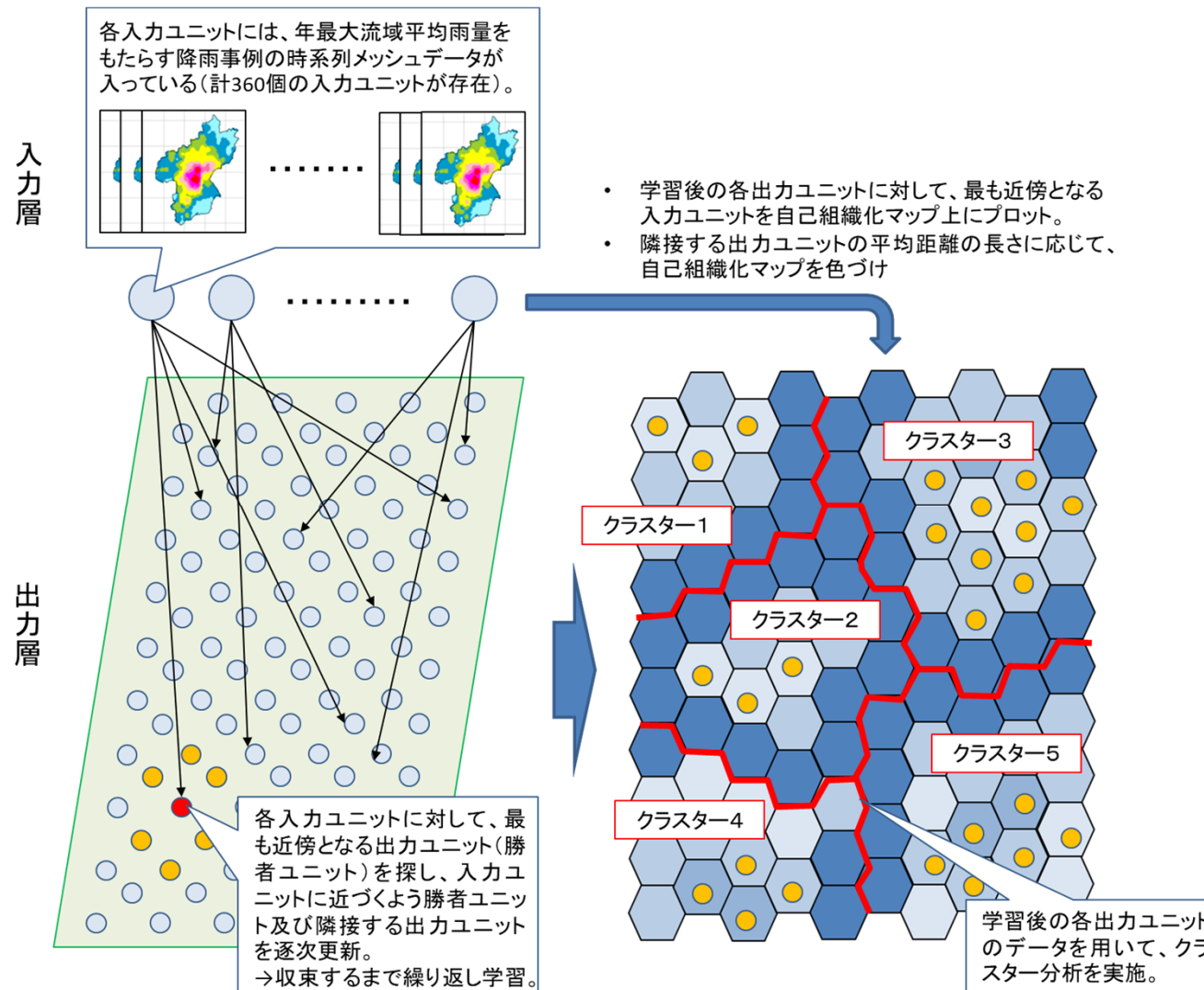
- SI-CAT DDS5TK (Sasai et al, 2019)のうち、将来2℃上昇実験のデータ（31年分×6SST×2摂動）を使用。



SI-CAT DDS5TKの概要※

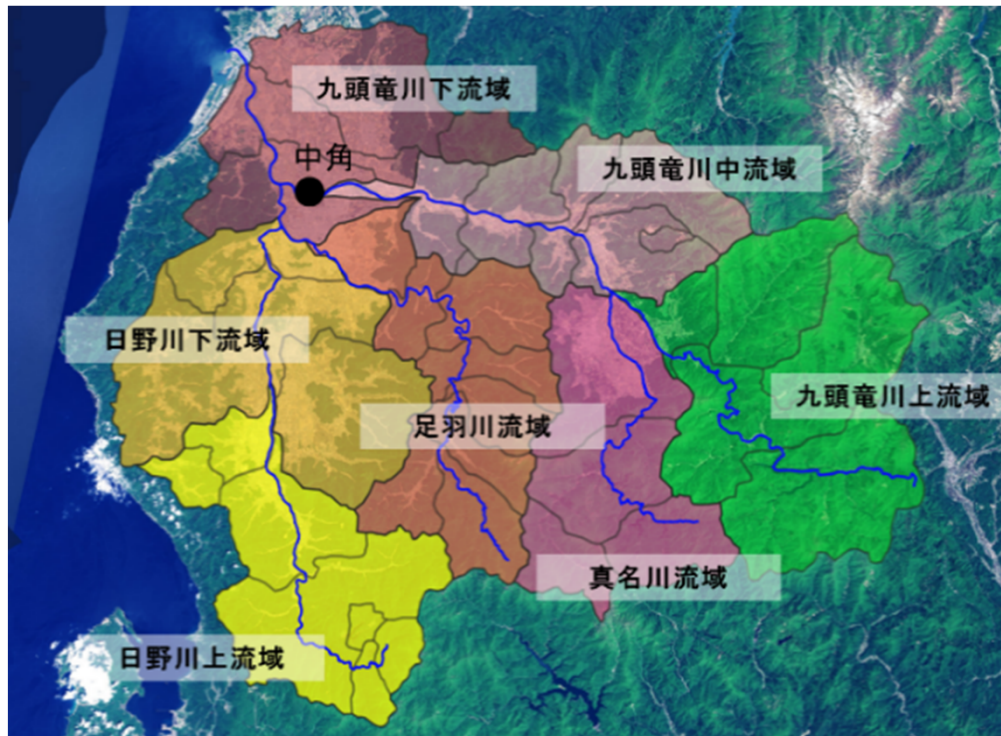
3. 降雨の時空間分布のクラスター分析

- 将来2℃上昇実験のデータを用いて、年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベントを対象に、自己組織化マップによる機械学習を実施。
- 学習データを用いて、k-means法によるクラスター分析を実施。



3. 降雨の時空間分布のクラスター分析

- 対象水系：九頭竜川水系
- 自己組織化マップに与える入力データ：
年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベント 計360イベント
7つの中流域×流域平均1時間雨量×48時間分（計336個の一次元データ）
- 入力データの前処理：主成分分析により累積寄与率95%以上の成分を抽出
- クラスター分析：k-means法
- 最適なクラスター数の設定方法：シルエット法
- 使用ライブラリ：minisom、scikit-learn

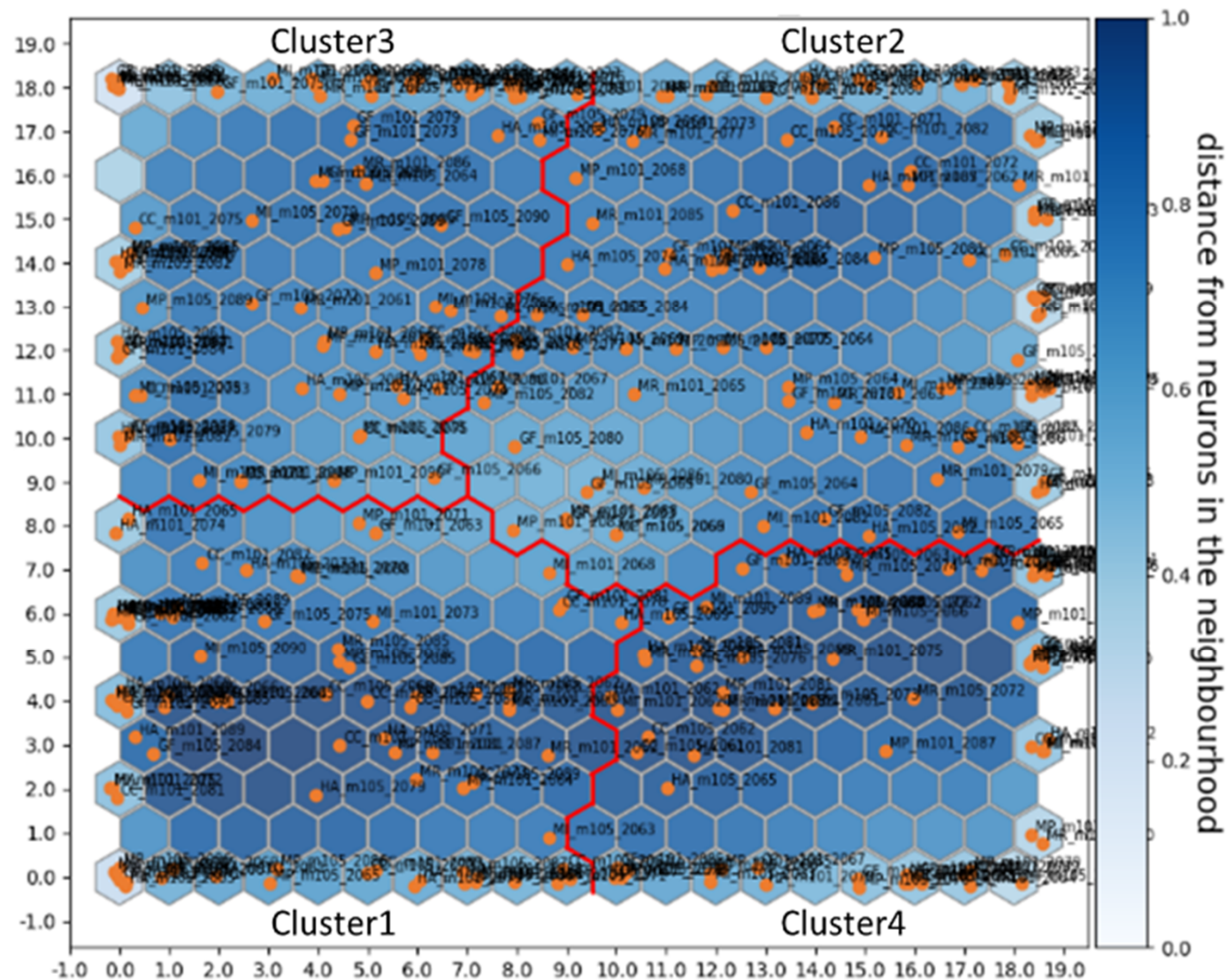


自己組織化マップの設定パラメータ

パタメータの内容	設定
出力ユニットサイズ	19×19
近傍関数の種類	ガウシアン関数
近傍半径の初期値	9.5
学習率	0.5
格子形状	六角形格子
重みベクトルの初期条件	乱数(シード10)
学習回数(繰り返し回数)	10000回

3. 降雨の時空間分布のクラスター分析

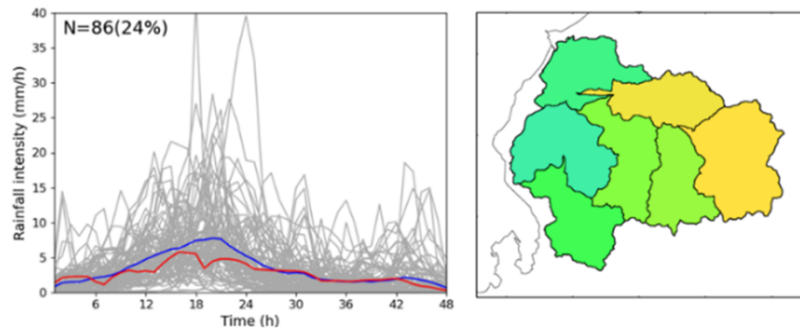
- 自己組織化マップによる分析の結果、2℃上昇下において、年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベント群が4つのクラスターに分類された。



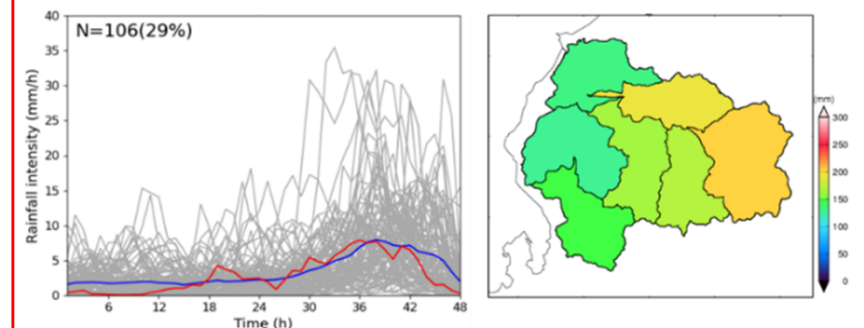
3. 降雨の時空間分布のクラスター分析

- 各クラスターに配置された降雨イベントの降雨時空間分布の特徴を把握するために、流域平均雨量の時系列図と中流域毎の積算雨量の平均値図を作成。
- 最も出現頻度が高いのは、クラスター2（後半型、九頭竜川上・中流域型）の時空間分布パターンであることが分かった。

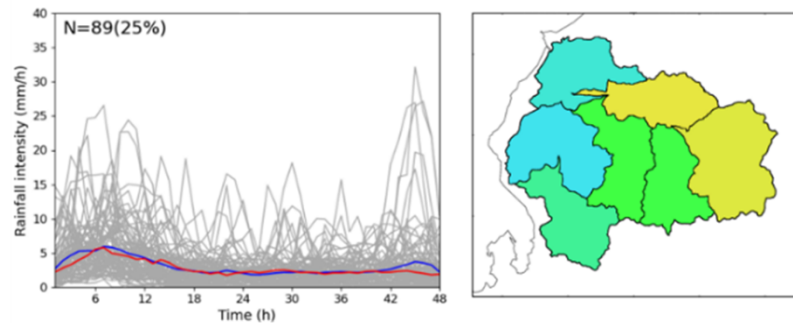
Cluster 1 (N=86 (24%))



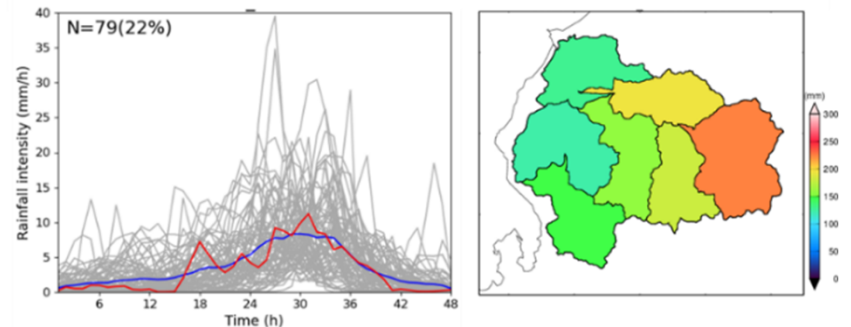
Cluster2 (N=106 (29%))



Cluster3 (N=89 (25%))



Cluster4 (N=79 (22%))



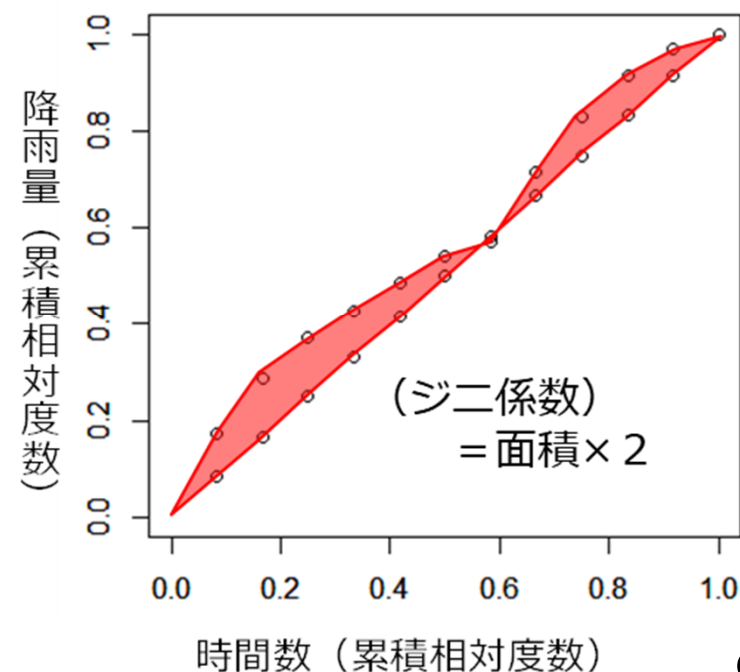
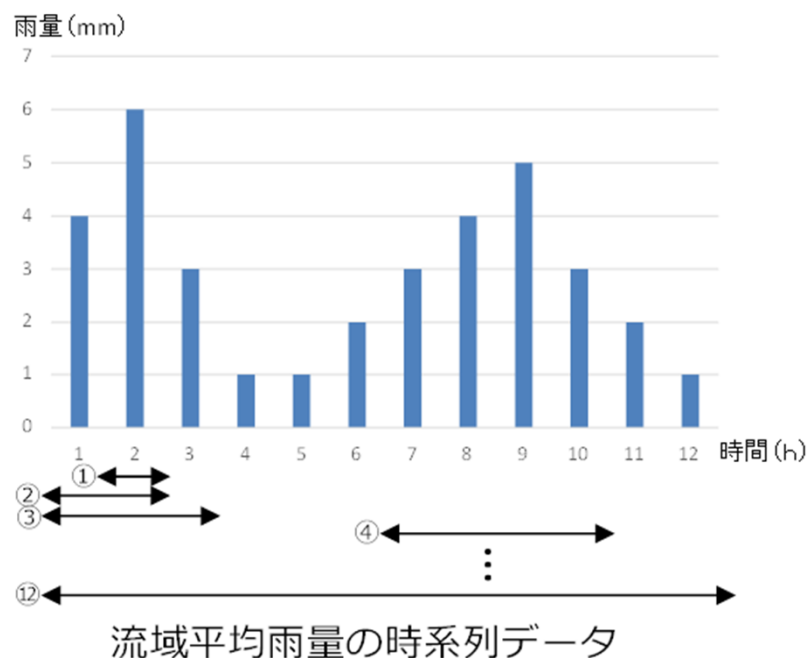
※流域平均雨量の時系列図のうち、
灰色線は各降雨イベントの時系列、青色線は各クラスターに位置する降雨イベントの流域平均雨量を平均した時系列（クラスター平均の時系列）、
赤色線はクラスター平均に最も近い降雨イベントの時系列を示す

4. 時間集中度・空間集中度

- 所得格差の指標として用いられるジニ係数を応用し、降雨の時空間分布の時間集中度及び空間集中度を算出。

時間集中度

- 流域平均雨量のヒエトグラフを作成
- 連続したN時間（N=1～降雨継続時間）単位での雨量合計の最大値を算出
- 横軸に時間数、縦軸にN時間最大降雨量の累積相対度数分布図を作成
- 上記c)でプロットした集中度曲線と対角線に挟まれた面積からジニ係数（0に近い：時間的に均等な降雨、1に近い：短期集中型の降雨）を算出



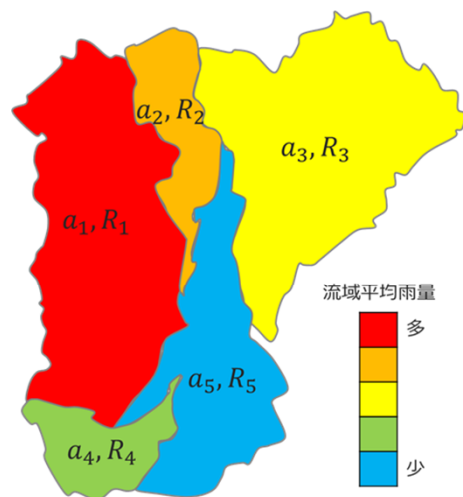
4. 時間集中度・空間集中度

- 所得格差の指標として用いられるジニ係数を応用し、降雨の時空間分布の時間集中度及び空間集中度を算出。

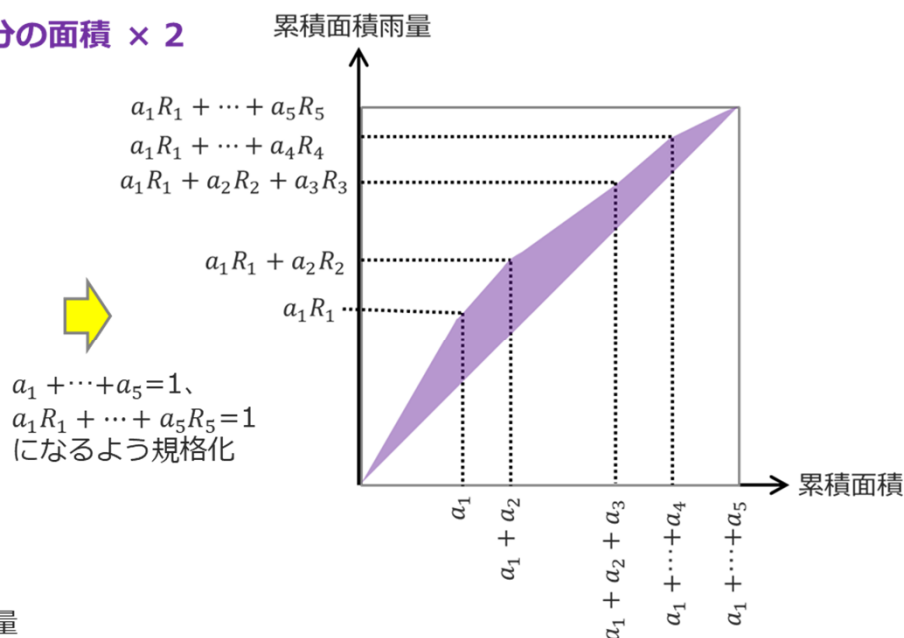
空間集中度

- 降雨継続時間内における流域平均積算雨量を小流域毎に算出
- 流域平均積算雨量の大きい方から、N個の小流域（N=1～全小流域，ただし隣接関係は考慮しない）について、面積雨量（小流域面積と流域平均積算雨量を掛け合わせた値）の合計を算出
- 横軸に小流域面積の合計、縦軸に面積雨量の累積相対度数分布図を作成
- 上記c)でプロットした集中度曲線と対角線に挟まれた面積からジニ係数（0に近い：空間的に均等な降雨、1に近い：局所集中型の降雨）を算出

空間集中度 = 右の図の着色部分の面積 × 2

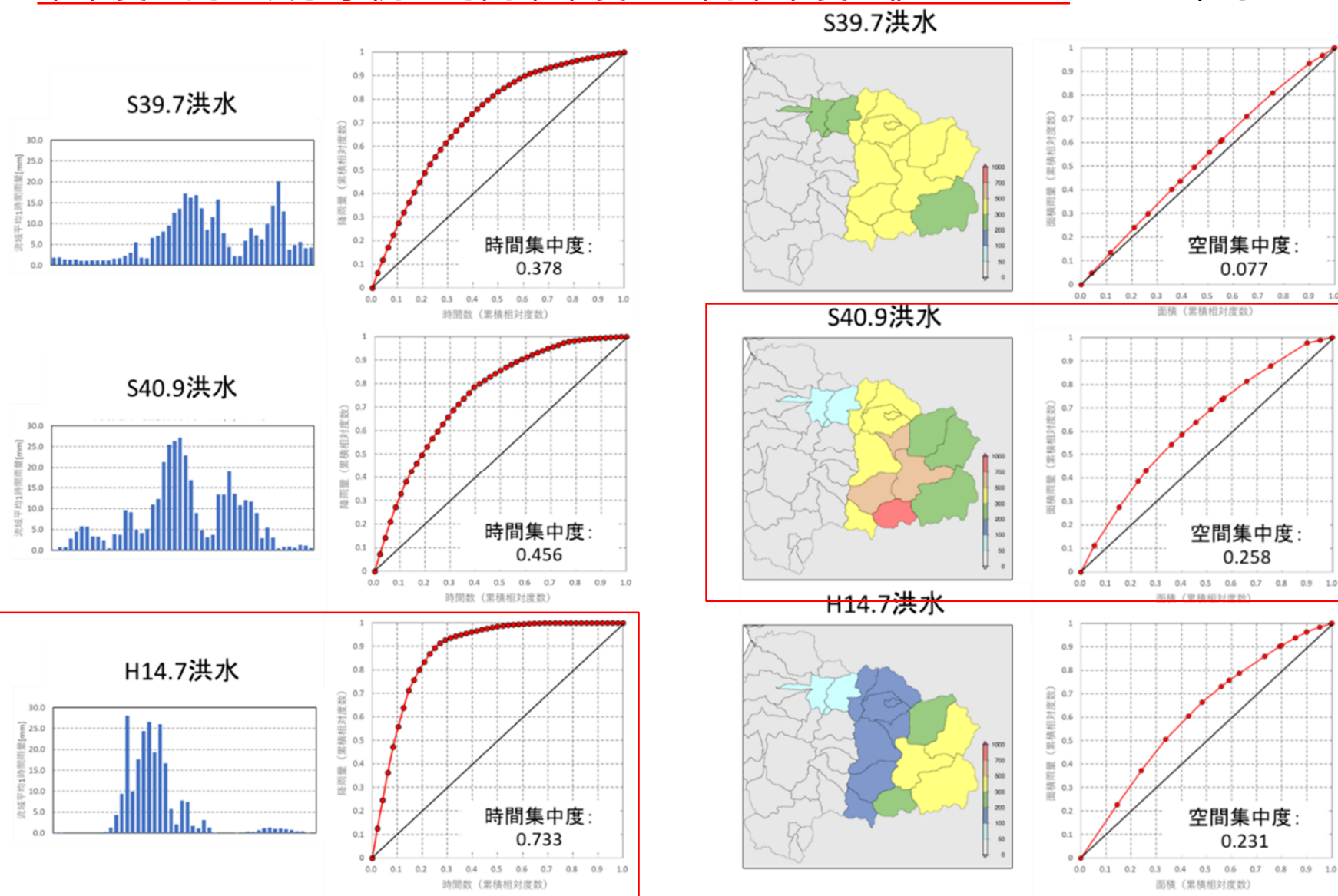


$a_1 \sim a_5$: 小流域1～5の面積
 $R_1 \sim R_5$: 小流域1～5の流域平均積算雨量
 $R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5$ とする



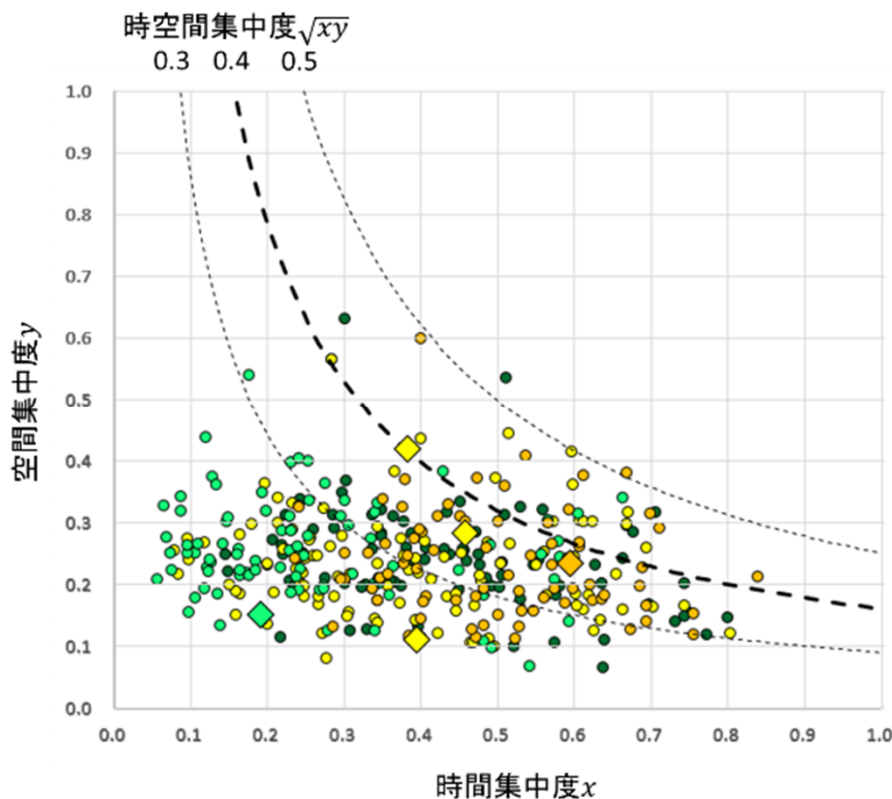
4. 時間集中度・空間集中度

- 既往洪水の時間集中度・空間集中度を算出したところ、降雨の時間的・空間的な集中度が高い洪水事例の時間集中度・空間集中度の値が大きいことを確認。



5. 考察

- クラスター別に、2℃上昇実験における年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベント及び既往洪水の時間集中度・空間集中度を整理。
- 時間集中度・空間集中度は発生時期や位置は不明なものの、降雨の時間的・空間的な集中度を0～1の範囲で数値化できる特徴がある。
- 自己組織化マップは降雨のピークがどの時期に集中しているか、空間的にどの位置に降雨が集中しているかを分類しているが、集中の度合いまでは分類されていないことが分かった。



【時間集中度】

- クラスター1及びクラスター2は幅広く分布
- クラスター3は0.1～0.4付近に分布
- クラスター4は0.3～0.7付近に分布

【空間集中度】

- どのクラスターも概ね0.1～0.4の付近に分布

Cluster



丸型のプロット：

2℃上昇実験における年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベント

菱形のプロット：

既往洪水

5. 考察

- 既往洪水毎にクラスター分析結果、九頭竜川水系の集水域全体を対象とした場合の時間集中度、空間集中度、時空間集中度（時間集中度と空間集中度の幾何平均）、計画規模のダムなしピーク流量（中角地点）を整理。
- 時空間集中度が0.4に近いS36.9洪水、S40.9洪水、S50.8洪水型の降雨時空間分布は、ダムなしピーク流量（中角地点）が大きい傾向が見られた。
- ただし、時空間集中度が高ければ、ダムなしピーク流量も高くなるとは限らない。
⇒あくまでも中角地点の結果であり、対象地点が変われば、流量が大きくなる降雨の時空間分布パターンの可能性がある。
⇒治水上考慮すべき降雨の時空間分布パターンを抽出できる可能性が示唆された。

既往洪水	クラスター分析結果	時間集中度 x	空間集中度 y	時空間集中度 $\sqrt{xy}$	(参考値) 計画規模の ダムなしピーク流量 (中角地点)
S34.8洪水	Cluster3	0.190	0.153	0.170	4,003m ³ /s
S36.9洪水	Cluster2	0.457	0.284	0.360	7,997m ³ /s
S39.7洪水	Cluster2	0.394	0.112	0.210	4,954m ³ /s
S40.9洪水	Cluster2	0.382	0.421	0.401	6,987m ³ /s
S50.8洪水	Cluster4	0.595	0.236	0.375	8,501m ³ /s

中角地点以外の場所でピーク流量が大きくなる可能性がある降雨の時空間分布パターン

中角地点で最もピーク流量が大きい降雨の時空間分布パターン

6. 結論

- 2℃上昇実験において、九頭竜川水系で年最大の流域平均雨量をもたらす降雨イベントは4つのクラスターに分類され、最も出現頻度が高いのはクラスター2（後半型、九頭竜川上・中流域型）の時空間分布パターンであった。
- 自己組織化マップは降雨のピークがどの時期に集中しているか、空間的にどの位置に降雨が集中しているかを分類できる特徴がある。一方、時間集中度、空間集中度は時期や位置は不明なものの、降雨の時間的・空間的な集中度を0～1の範囲で数値化できる特徴があることが分かった。
- 時空間集中度（時間集中度と空間集中度の幾何平均）が0.4に近いS36.9洪水、S40.9洪水、S50.8洪水型の降雨時空間分布は、計画規模降雨のダムなしピーク流量（中角地点）が大きい傾向が見られた。



自己組織化マップでクラスター分析し、降雨の時空間分布の大きな特徴を把握した上で、既往洪水の時間集中度、空間集中度、時空間集中度と対象地点のピーク流量を整理することで、治水上考慮すべき降雨の時空間分布パターンを抽出できる可能性が示唆された。