

激甚化する豪雨災害への対応 ～治水と水防災の連動～

平成29年度河川情報シンポジウム
2017.12.1 ベルサール半蔵門

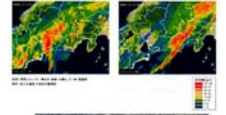
(一財)河川情報センター・河川情報研究所長
名古屋大学名誉教授・金沢大学大学院特任教授

辻本 哲郎

水災害(2000以降だけでも水害頻発)

2000 東海豪雨

線状降水帯
破堤 外水・内水連動
都市型水害(被害形態)
→一般資産被害, ライフライン不能
恵南豪雨
土砂災害, 流木, ダムの但書き放流, ダム堆砂の進行



2004 台風10個来襲→200名以上の犠牲

線状降水帯
破堤:五十嵐川・刈谷田川, 足羽川, 円山川
避難の課題(災害弱者)
←ハード整備とソフト体制の連携



2005 ハリケーンカトリナ

高潮→ニューオリンズ水没, 1000人以上の犠牲者
→広域避難・緊急対応 ←FEMA(連邦危機管理庁)
→日本三大湾での対応→「東海ネーデルランド高潮洪水地域協議会」



2008 岡崎豪雨, 都賀川水難事故

←ゲリラ豪雨
(1999練馬豪雨・福岡豪雨)
→Xバンドレーダー
浅野川水害 ←線状降水帯



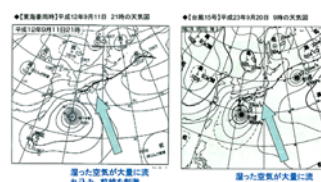
2010 可児・八百津豪雨 ←ゲリラ豪雨

2011 東日本大震災・津波

→津波防災

紀伊半島豪雨災害 ←台風15号 深層崩壊→天然ダム

庄内川洪水 →名古屋で100万人避難勧告 東海豪雨の再来



2012 九州北部豪雨・矢部川破堤

2013 京都水害 嵐山水没, 地下鉄水没 ←ダム操作

2014 広島土流災害→局所的同時多発 ⇔ 梨子沢土石流

2015 鬼怒川水害 破堤→広域氾濫

北海道水害 破堤→広域同時多発



2017 九州北部豪雨 土砂災害・流木災害 ←2012豪雨の再来



異常な気象←気候変動←地球温暖化

巨大台風
線状降水帯
ゲリラ豪雨



災害現象

土砂・流木 ～ダム堆砂→洪水調節容量減少
深層崩壊 ～天然ダム →土石流の危険性
治水施設機能破綻
溢流・破堤/ダムの但書き放流
内・外水連動 (排水機場・運転調整)
都市型水害 (地下施設/ライフライン)
→被害の拡大



対応

避難 ←垂直避難, 広域避難
災害対応麻痺 ←広域, 同時多発
行政機能麻痺

異常な気象

整備レベルを超えて発災する事例増加。
(治水計画の進捗)

↓
発災するという「認識」→水防災へのボタンタッチ

豪雨時の降雨流出に付加される現象の増幅や現実に起きる「氾濫」

災害現象

土砂管理
治水施設機能破綻 ←発災を前提とした治水構造物管理
河川・下水道運搬
ライフライン被災

対応

適切な避難誘導 → 垂直・水平避難 → 広域避難
危機管理 → 災害対応麻痺 ← 広域、同時多発
行政機能麻痺

こうした災害の頻発と激甚化への対応 (ざっくり見てみると...)

→治水と水防災の連携への流れ

← 氾濫するかもしれない(氾濫することもある)という認識

- ・治水整備の確実な進捗 (氾濫しない) 氾濫しても被害は軽減できているか?
- ・ハード整備とソフト体制
治水施設(ダム・堤防)と水防災(とくに避難体制)
↑
ハザードマップ ← 浸水想定
タイムライン ← 水防基準水位
- ・ハザード
基本方針レベルの雨 (L1降雨) ※治水で本来守るべきレベル
可能最大降雨 ~ 1/1000 (L2降雨) ← 治水はお手上げ?
(カストロフ・天変地異)
↓
・「生命を守る」 ← 避難行動
・「社会・経済の壊滅的被害をなくす」 ← ライフラインBCP, 迅速な災害復旧
生活
・広域性の認識 → 「減災協議会」(法定)

治水 ~ 洪水防御 ← 連続堤防・洪水調節施設

(洪水を川に押し込める) ← 河川管理行政

← 計画・設計・施工・維持管理

↑
外力想定 計画対象洪水 ← 計画対象降雨 ← 計画規模
(確率年 Return period)

外力来襲(ハザード): 確率的 ~ 計画規模・整備進捗途上

↓
整備レベルを超過する外力

↓
発災(災害が起きる) ← いつ?どこで? ← 整備能力の認識(発災閾値)

↑
水防災 ← 本来は地域行政

被害を避ける・軽減する

- ・避難... ~ 生命を守る
- ・災害対応... ~ 社会・経済・日常生活の壊滅的な被害を「減災」

治水整備 計画規模 (→確率年)のハザード(降雨)に対して 計画→設計→施工→維持管理

- ・治水計画として妥当なハザード
水系治水 流量→貯水・疎通

↑
その水系が水を集める流域に降る雨が対象

計画規模

河川・流域の重要性→標準化 確率規模 (Return period)

実績・既往最大

手法: 洪水疎通→河道・堤防

洪水調節→ダム・遊水地・放水路

- ・施工 段階的計画 (整備計画→基本方針)
施工順序 (下流→上流)

水防災

- ・治水整備の現状レベルを把握 (発災閾値→氾濫)

↑
計画・設計・施工・維持管理

- ・水防災計画

ハザードマップ

← 浸水想定: 計画外力 (L1) / 可能最大外力 (L2)
整備途上認識 / 超過外力 (天変地異)

タイムライン

発災前の避難 (命を守る)

発災後の対応 (壊滅的被害を回避・早期復旧)

- ・水防災活動

発災前 ← 降雨・洪水予測 (タイムラインの絶対時刻)

→ 水防実施・避難行動

発災後 → 破堤抑止・締切 → 応急復旧

排水・啓蒙 ライフライン復旧

救急・救命、救援・支援

治水整備(水系治水)

- ・どのような降雨シナリオに対して最適な治水施設を整備していくか

↑

対象とした水系に集めてくる「流域に降った雨」が、河川に及ぼす負担

↑

流域平均累積雨量(洪水到達時間内)

- ・施設整備は段階的

水防災

- ・計画の進捗に時間がかかる→ソフト体制

河川計画の対象ハザード

地先での対応

↓ 気候変動

- ・危機管理←天変地異・カストロフ

・低頻度事象

・氾濫エリア(複数流域) 広域行政圏

↑

複数流域にかかる降雨の時空間構造 シナリオ

豪雨・洪水災害にかかわる現象

気象→降雨→流出→河川流量→河川水位→溢流・破堤→氾濫浸水

流出 ダム 河道 堤防
技術： 流出解析 河川水理 破堤機構 氾濫水理

治水・水防災のミッション

計画→設計→施工→維持管理→水防災計画→水防災対応
治水（河川管理） 水防災

技術：計画対象降雨（←計画規模・確率年） 浸水想定 洪水予測
→基本高水 ハザードマップ
↓洪水調節 タイムライン
計画高水流量
→河道水位 < 計画高水位（HWL）
↑
河道設計 ・ 維持管理

河川計画 河川計画（高水計画）の基本的考え方

- ・計画対象区間
- ・計画基準点
- ・計画規模 ← 確率年（Return Period）「〇年に一度」
- ・計画雨量
- ・計画対象降雨ハイトグラフ
↓ ← 流出解析
↓ 流出モデル・流域分割・初期土壌水分条件（← R_{in} ）
- ・基本高水（ハイドログラフ） @ 基準点
- ・基本高水ピーク流量
↓ ← 洪水調節＝ピークカット（ダム計画＝洪水調節容量・配置）
- ・計画高水流量 これを河道で安全に疎通させる
↓ 水理解析（縦断勾配・断面積・粗度）
- 河道計画＝計算水位 < 計画高水位（HWL） ← 堤内地の状況／堤防
↓ ↓
河道設計 堤防設計

河川計画 河川整備基本方針 望ましいレベルの安全度／全国視野
河川整備計画 20～30年で実施／流域の事情

設計（河道・堤防／ダム）

河道設計 ← 計画流量時の水位 < 計画高水位

1次元不等流
→ 2次元不等流・1次元不定流 + 移動床解析（河床変動の検討）

堤防設計 ← 計画高水位以下の洪水に対して安全疎通～堤防確保

計画高水作用 ← 破堤への安全確保 ← 「定規断面」+「照査」
・浸透破堤←裏法内張り・パイピング（動水勾配上昇）← 不飽和浸透解析
・洗濯破堤←表法侵食・護岸の基礎部の洗濯 ← 水理解析
※堤防定規断面 天端幅＝HWL+余裕高／2割勾配
↑
耐越流 耐浸透・耐洗濯 → 照査

ダム設計 ← 基本方針レベルの計画流入量・放流量に対して適正・安全な調節（ピークカット）（洪水調節容量、洪水吐）
（ピークカット）（洪水調節容量、洪水吐）
↓
洪水調節方式：定率・定量 → 操作規則 ← 整備計画レベル（途中段階）

・洪水調節容量 ・洪水調節ゲート等

維持管理（治水機能）

河道維持管理

- 河道維持管理計画
それまでに確保された流下能力の確保～現況疎通流量
- 維持工事＝維持掘削・樹木伐開
- 検証←洪水観測
・洪水時流量観測 水位H ～ 流量Q → HQ曲線作成
・ピーク流量 ← $H_{max} \rightarrow HQ$ 曲線 → Q_{max}
・洪水復旧水観測 → HWL（天端・余裕高）との比較

堤防維持管理

堤防の機能：HWL以下の洪水の安全な（溢流・破堤をしない）疎通
○平時点検 変状認識 → 破堤要因
断面性状（量・質）←ボーリング 照査（堤防詳細点検）
天端高観測（MMS）、その他の変状（亀裂・空洞化など）
○洪水時監視（経路の確保）
破堤の誘因：越流・浸透・洗濯 → 水防活動・避難情報

ダムの維持管理 ← 洪水調節容量、操作規則（+洪水吐）
← 堆砂 ← 河道整備見合い

水防災

水防災計画 ← 水防活動・避難行動（←自治体首長管轄）

治水安全度 $H < \text{局所的氾濫危険水位（＝堤防天端－余裕高）} \rightarrow HWL$

↑ 対象河道に対する水理解析（1次元不定流）

水防災の計画流量＝基本方針レベル（最近L2に変更する動き）
（基本高水ピーク流量－その時点での洪水調節ピークカット量）

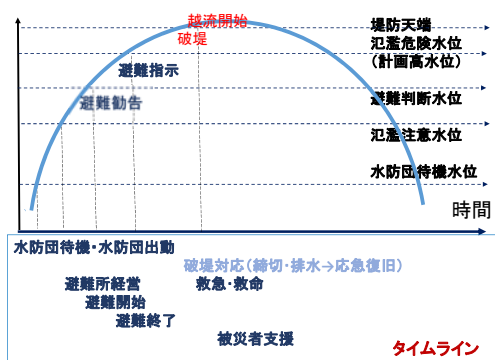
水防災計画のシナリオ（河川洪水を対象として）

水防災タスク：行政組織の災害時対応体制 ← 浸水想定区域の認識（ハザードマップ）

↓
水防活動 待機→出動・活動→撤退
避難行動 避難情報（避難準備情報→避難勧告→避難指示→解除）
避難所開設・避難誘導
事業所の事業継続計画BCPに沿った行動
破堤後の対応※ 応急復旧・救援
「破堤シミュレーション」

水防災タスクの実施計画＝「タイムライン」←水位時系列H(t)
氾濫危険水位到達からの相対時刻

河川水位～水防基準水位



リアルタイム水防災(危機管理行動)

リアルタイム $H(t)$ に対して, 水防災計画(タイムライン)に沿った対応を実施

過去～現時点

水位観測点水位のリアルタイム発信→情報伝達の遅れ時間

- ・基準水位と比較～必要なタスク
 - ・観測点がカバーするエリアのその時刻水位予測
(カバーするエリア内の現況把握⇔各地点の堤防情報等)
- ←点検による現況報告

将来予測:

水位変化予測 ←流量変化予測(基準水位でのアクション)

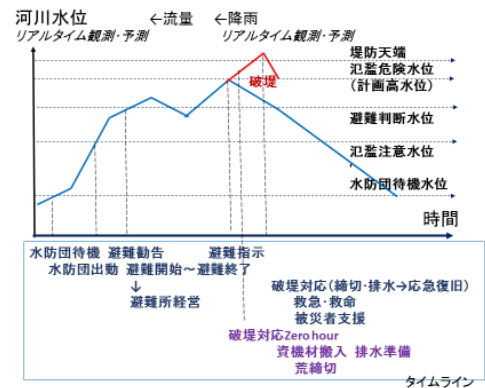
↑
河道水理解析・水位観測

↑
流出解析

↑
降雨観測 ←レーダー雨量計

↑
降雨予測

リアルタイム水防災 ←リアルタイム水情報



	降雨	洪水予測モデル 流出モデル	水理モデル
治水計画	地上雨量データ 流域平均・累積 確率年	R_{sa} 貯留関数 (集中型)	一次元不等流
設計・施工・維持管理			
水防災計画 L1			一次元不定流
危機管理行動計画	流域 想定最大(L2) ~1/1000		一次元不定流
リアルタイム水防災	レーダー雨量 (時空間分布) 降雨予測 気象予測	タンクモデル等 (分布型)	一次元不定流 (データ同化)

Stereotype

確率年(Return period) RP

確率水文学量=「RP年に一度はこれを超過する」

利水計画などで10年に一度 →10年のデータの第1位, 20年のデータの第2位
高水計画では「100年に一度」と言いながら, データ数は少ない
←分布関数を想定して推計

確率変数(水文学量)の分布関数 $F(X)$: 累積確率 $P(X)=1-F(X)$ 超過確率
RP年に一度の水文学量 X_{RP} $P(X_{RP})=1/RP$

N年分のデータからの分布関数の類推 ← データ数に依存

分布形の想定例: 対数正規分布

$\xi = [\log(X) - \mu] / \sigma$ ← $\mu = E\{\log X\}$ $\sigma^2 = \text{Var}\{\log X\}$

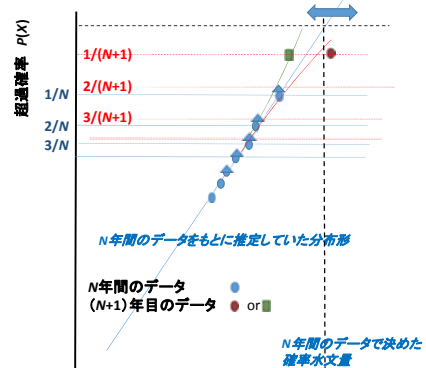
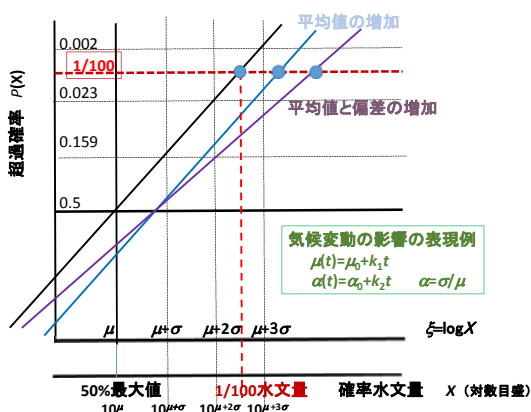
↓

RP年に一度の水文学量 X_{RP}

$\Phi(\xi_{RP}) = 1/RP$ Φ = 標準正規確率分布関数 $N(0,1)$

$X_{RP} = 10^{(\xi_{RP} \cdot \sigma + \mu)}$

過去の水文学量からその対数をとった標本の平均値, 標準偏差を求めれば,
RP年確率の水文学量が推計される。

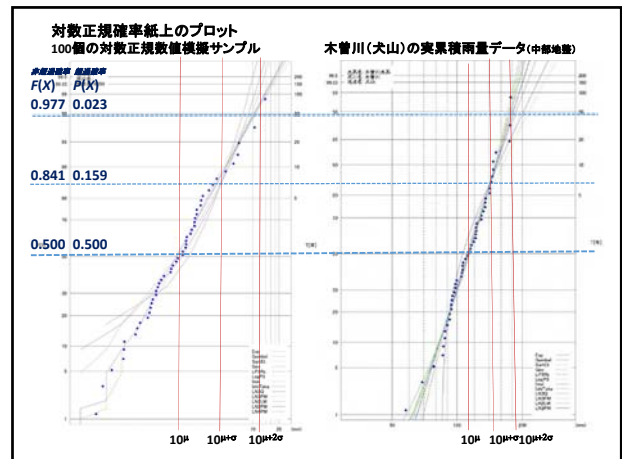


水文学が対数正規分布としたら、どんな標本が出現するか

一様乱数 $[0, 1]$
 ↓
 正規乱数 $(N(0,1)) \xi$
 ↓
 対数正規乱数 $\eta = \log \xi$ (平均値1, 標準偏差1)
 水文学の対数をとったものの平均値 m , 標準偏差 σ が既知とすると,
 → 標本水文学 $X = 10^{m + \sigma \eta}$

N個の一様乱数からの標本のセット(N年分)
 → 分布形の当てはめ → 確率水文学推計

No.	Year	Discharge	Discharge	Discharge	標本水文学 (N=100)										年平均 (参考)	
					LNDFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM	LNJFM		LNJFM
1	1971	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1972	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	1973	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	1974	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1975	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	1976	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	1977	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	1978	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
9	1979	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1980	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	1981	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
12	1982	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
13	1983	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
14	1984	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1985	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16	1986	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
17	1987	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
18	1988	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
19	1989	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1990	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
21	1991	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
22	1992	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
23	1993	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
24	1994	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	1995	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
26	1996	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
27	1997	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
28	1998	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
29	1999	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
30	2000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
31	2001	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
32	2002	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
33	2003	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
34	2004	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
35	2005	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
36	2006	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
37	2007	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
38	2008	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
39	2009	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
40	2010	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
41	2011	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
42	2012	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
43	2013	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
44	2014	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
45	2015	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
46	2016	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
47	2017	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
48	2018	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
49	2019	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50	2020	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



流出解析

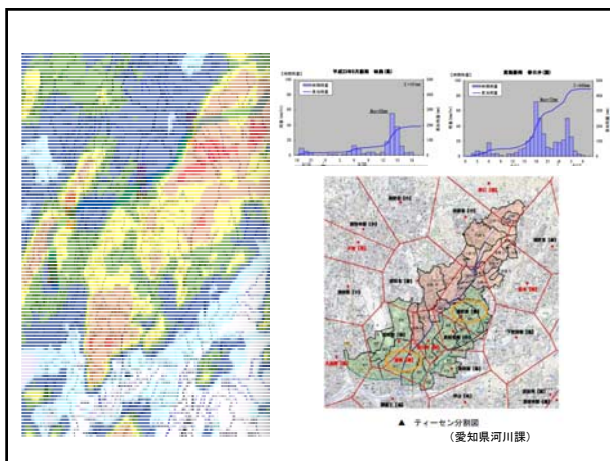
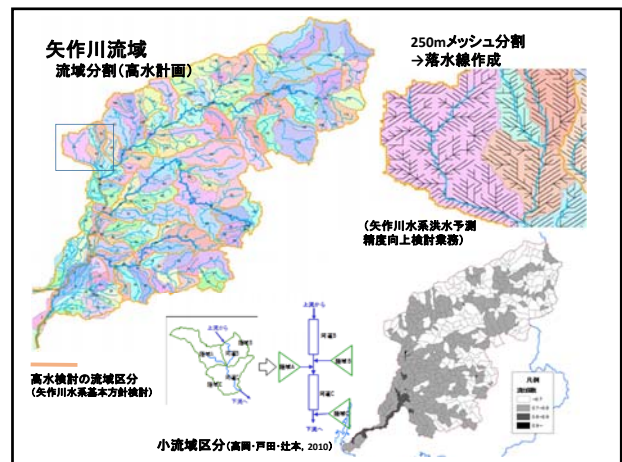
面積要素分割
 流出域・河道域
 小流域分割 ← 支川レベルでの分割
 メッシュ分割 ← 正方形メッシュ

粗要素の内容(河道・斜面)
 細要素の内容(河道・斜面)
 落水網作成

↑
流出モデル装備
 貯留関数
 タンクモデル
 物理モデル

↑ パラメータ
 流域特性 ← 地形・地質・土地利用

降雨分布
 限られた地上雨量計データ → Thiessen分割
 高解像度のレーダ雨量



浸水想定 (対象とする「雨」のイメージ)

治水計画を進める上で.. (個別の水系・流域)

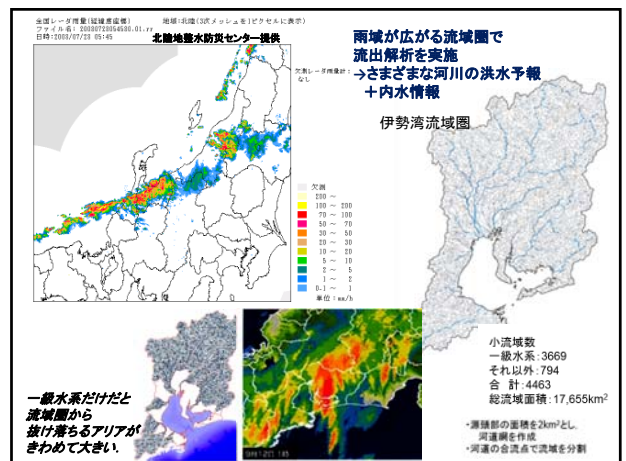
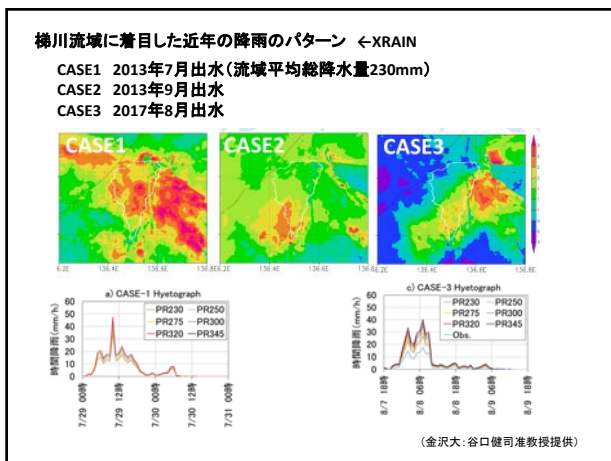
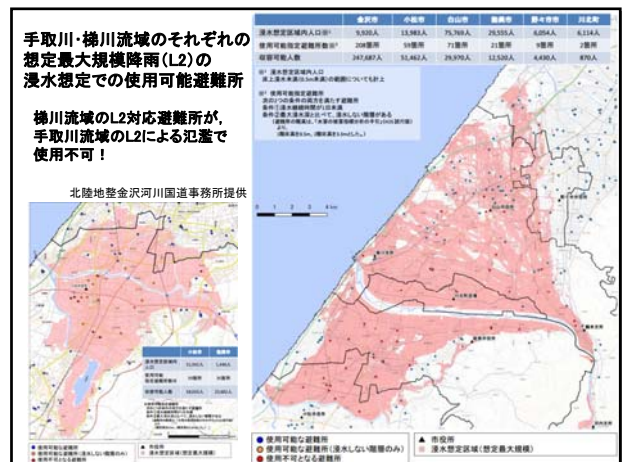
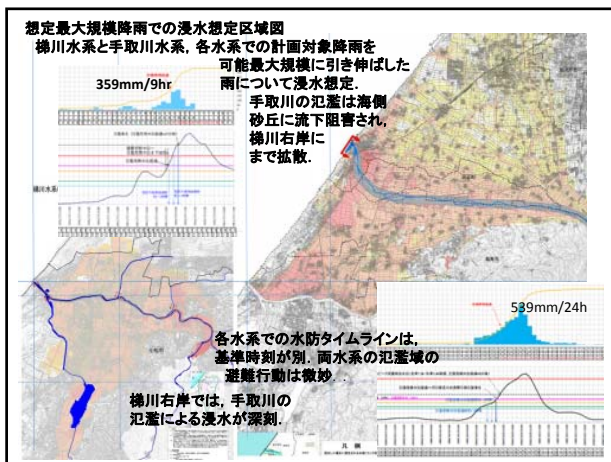
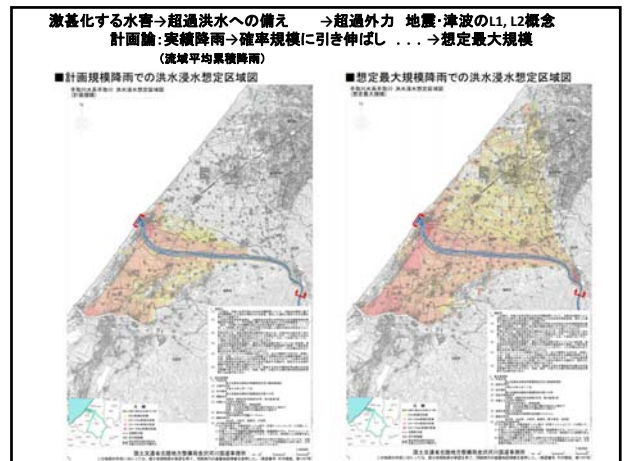
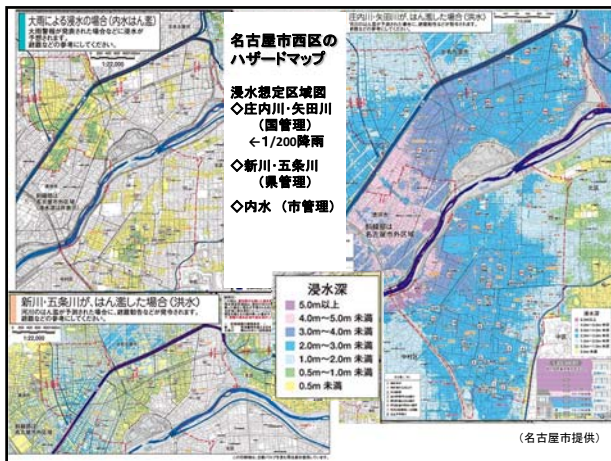
河川整備の現状 → 河川整備計画実施 → 基本方針
 投資効果 = 浸水域の減少 (浸水被害の解消)
 整備計画の妥当性 ↑ ↓ 外力規模
 ↓ 治水施設整備

水防災の視点から..
 本来「基本方針外力まで治水で守る」
 → 整備途上はソフト(避難等)を支援

○河川管理の視点
 基本方針までの治水整備がされていない場合の対象河川に起因する水害
 → 基本方針レベル(L1)浸水想定区域図の周知 → 水防災への活用 = ハザードマップ
 施設管理者の責任 → タイムライン

○地境の水防災 ← 複数の災害要因 ← 外力の雨(例:線状降水帯)
 複数管理者(管理河川, 雨水排除)
 個別の浸水想定?

○超過洪水へ対応 → L2浸水想定

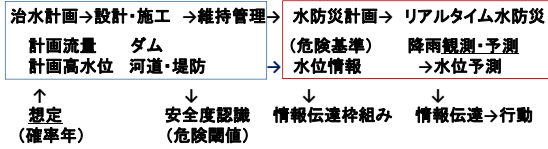


まとめ ～治水・水防災

①一連の現象・プロセスに注目

降雨 → 流量 → 河川水位 → 氾濫
 流出解析 水理解析 破堤・氾濫解析

②連携した対応



③激甚化する豪雨への対応

治水整備(現状と今後の進捗)
 ←適正な対象外力に対する計画(L1)
 水系に集まってくる流量(流域に降る雨)
 ソフト対応・危機管理 ←苛烈な降雨事象に対応できるのか
 ←地域が蒙るさまざまなハザード・リスクへの対応(L2も視野に)
 パリエーションに対する強さの確認 →オペレーションの確認(訓練)

④技術の革新とその利用促進

一連の現象の把握(リアルタイム計測・予測技術)

降雨→流出流量→河川水位→氾濫

計画・設計・維持管理・防災計画・リアルタイム防災

