

学識経験者 説明資料

中央大学研究開発機構	福岡捷二	教授	1 - 1 ~ 1 - 3 4
国立大学法人九州大学	小松利光	名誉教授	2 - 1 ~ 2 - 5 0
国立大学法人九州大学	工学研究院	島谷幸宏 教授	3 - 1 ~ 3 - 2 1
中央大学研究開発機構	藤田光一	客員教授	4 - 1 ~ 4 - 5
国立大学法人東京大学	生産技術研究所	加藤孝明 教授	5 - 1 ~ 5 - 9
学校法人東京農業大学	蓑茂壽太郎	名誉教授	6 - 1 ~ 6 - 1 2
国立大学法人九州大学	農学研究院	大槻恭一 教授	7 - 1 ~ 7 - 2 5
国立大学法人九州大学	農学研究院	平松和昭 教授	8 - 1 ~ 8 - 8

令和2年7月球磨川豪雨における洪水流と氾濫流の  
一体解析による人吉市街地と狭隘区間の集落の被害分析

令和3年3月5日

中央大学研究開発機構 福岡ユニット

福岡捷二

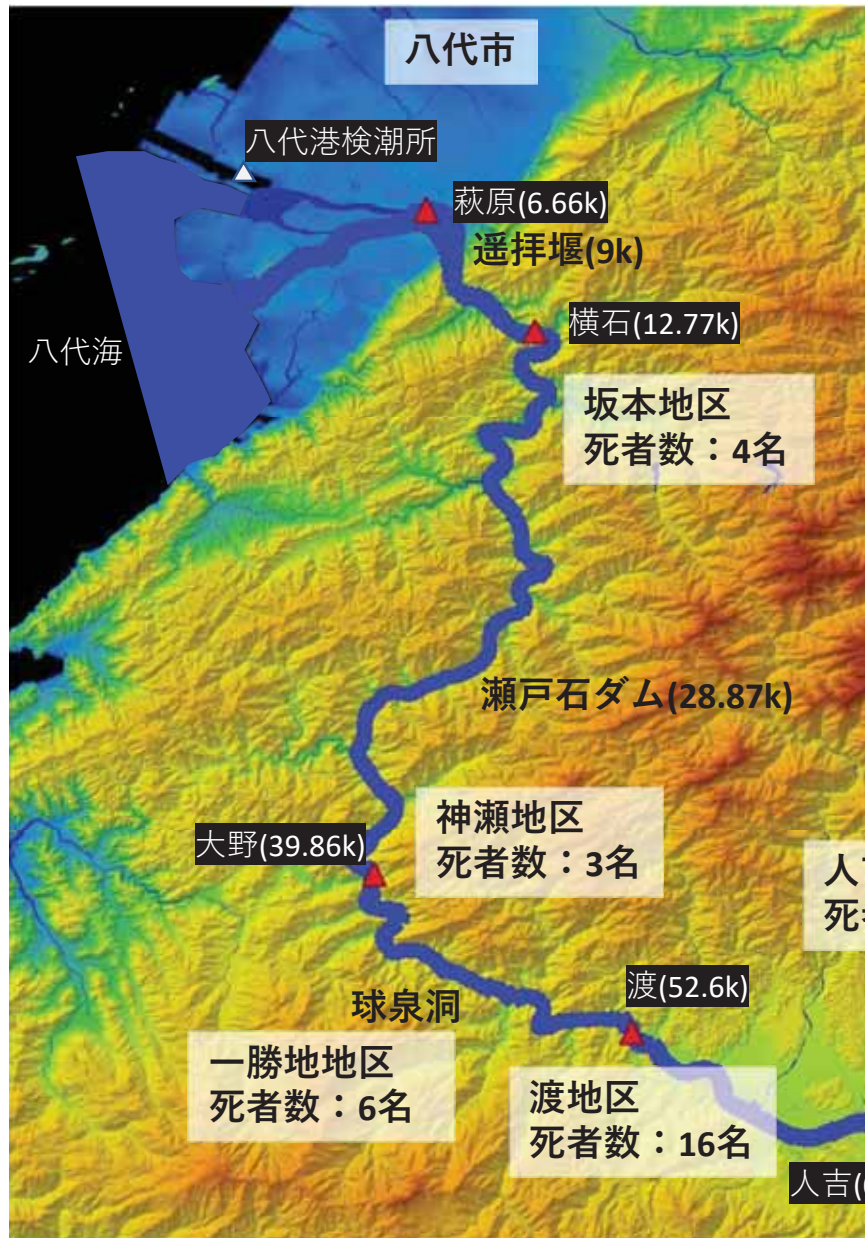
# 検討の目的

令和2年7月豪雨で発生した球磨川洪水では、計画高水流量を大幅に超える大流量が流下し、人吉盆地市街地とその下流に位置する山間狭隘区間集落群に甚大な氾濫被害をもたらした。

このような大規模な氾濫を伴うような洪水を対象として、流域治水を進めていく上では、まず、今次大洪水の流下・氾濫機構と人命や家屋等の損傷要因を明らかにする必要がある。

ここでは、令和2年7月球磨川豪雨による洪水流と氾濫流、河床変動の一体解析を行い、人吉市街地と狭隘区間集落の氾濫流の挙動と被災形態の関係を明らかにする。

# 検討範囲



検討範囲：河口（八代海沿岸）～市房ダム（球磨川）

球磨川合流点～5.2km付近(川辺川)

解析モデル：洪水流と氾濫流，河床変動の一体解析モデル

上流端境界条件：市房ダム放流量ヒドログラフ（球磨川）

柳瀬観測所水位ヒドログラフ（川辺川）

下流端境界条件：実績潮位ヒドログラフ（八代港）

支川流入量：貯留関数法による流出計算結果

粗度係数：現況粗度係数を参考に，観測水面形を再現するように設定

家屋群の取り扱い：メッシュ内の建物占有率，家屋群から受ける流体力を考慮

土砂流入量：本川(市房ダム直下)は流入量ゼロ，支川は平衡給砂条件とした。

初期の河床材料粒度分布：平成17年度河床材料調査結果



# 本解析モデルの特徴

令和2年7月洪水の流況

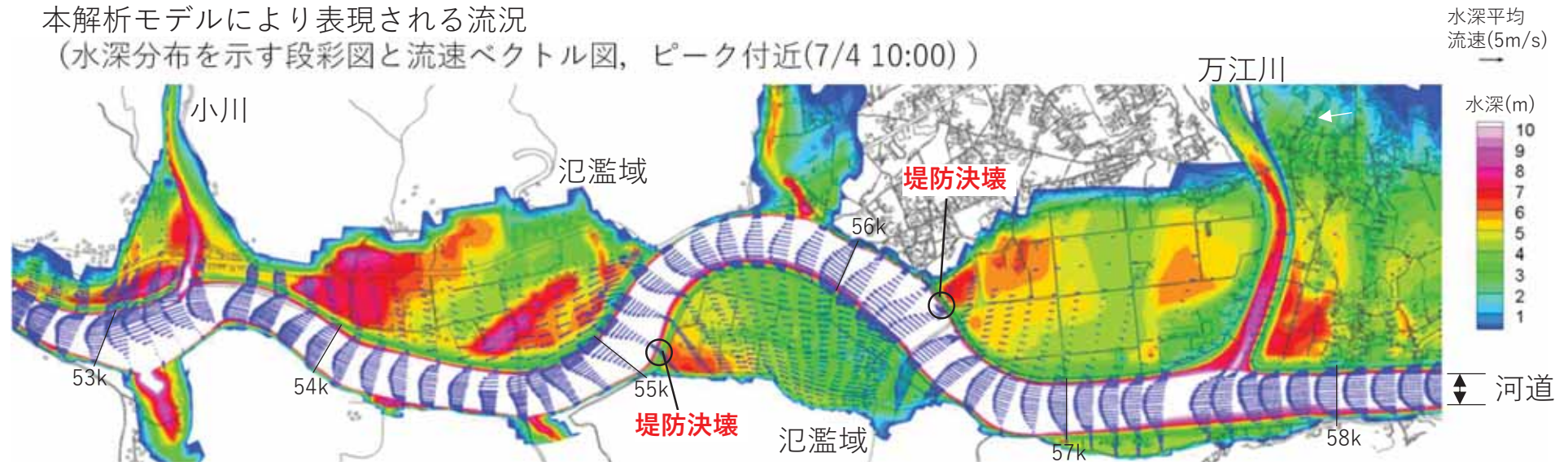
- 水位が堤防天端高を大きく超え、河道が低水路、堤内地が高水敷として振る舞う**複断面蛇行流れ**となり、河道と氾濫域を一体として洪水が流下した。

本解析モデル

- **河道と氾濫域の流れを一体的に解析**できるモデルを構築し、**観測水面形時系列**に基づいて洪水流・河床変動の解析を行った。
- 氾濫域の微地形、道路網、家屋群配置を考慮した。主要支川についても堤防線形と地形を考慮してモデル化した。
- 流れの計算には、平面二次元モデルの枠組みで三次元流れを合理的に解くことのできるQ3D-FEBS法<sup>1)</sup>を適用した。河床変動解析には、石礫粒子の非平衡運動に適した長田・福岡モデル<sup>2)</sup>を修正した修正長田・福岡モデル<sup>3)</sup>を適用した。

本解析モデルにより表現される流況

(水深分布を示す段彩図と流速ベクトル図、ピーク付近(7/4 10:00))

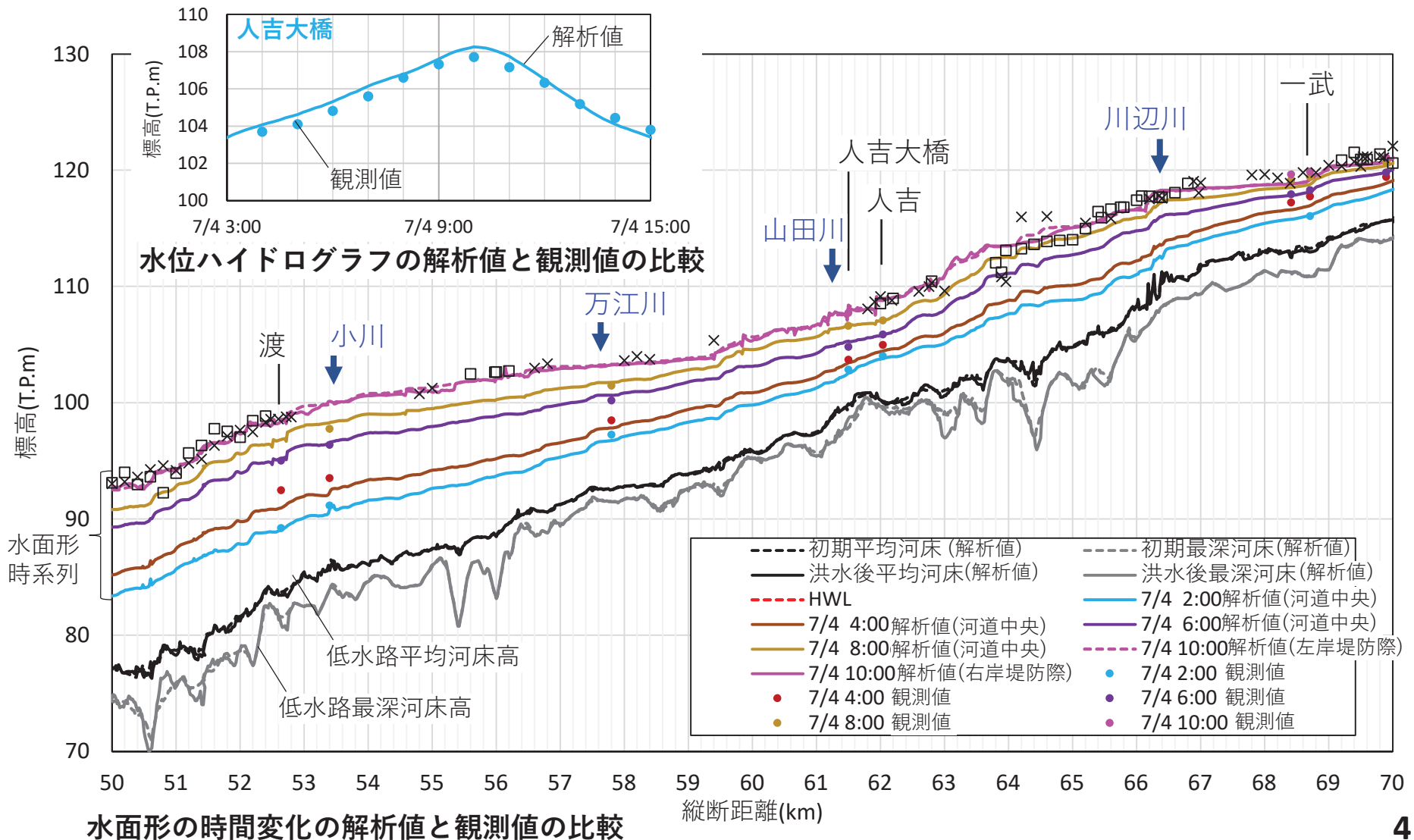


ピーク時付近における人吉付近の洪水氾濫状況

1) 竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019.7.  
2) 長田 健吾, 福岡 捷二: 石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布に着目した二次元河床変動解析法, 土木学会論文集B1, Vol. 68, pp.1-20, 2012.2.  
3) 竹村吉晴, 久保宜之, 岡田将治, 福岡捷二: 洪水流による物部川河口礫州の開口と変形機構に関する研究, 河川技術論文集, 26巻, pp.669-674, 2020.6.

# 人吉地区の水面形時系列の観測結果と解析結果

氾濫に伴う洪水流の水面形の時間変化の解析結果（実線）は、観測値（プロット）を概ね説明できている。また、流量ピーク時の解析水位は洪水痕跡水位を概ね説明できている。対象区間全体で観測水面形の再現性を確認した。（現時点では洪水後の横断測量データが得られていないため、本資料の河床変動については解析結果のみを示している。）





# 治水地形分類図

治水地形分類図-更新版(2007-2020), 国土地理院



凡例 ※一部抜粋

大分類	中分類	小分類	細分類	記号		
山地	山地	段丘面		[Symbol]		
		崖(段丘崖)		[Symbol]		
		浅い谷		[Symbol]		
低地	山麓堆積地形	扇状地		[Symbol]		
		氾濫平野		[Symbol]		
		氾濫平野	後背湿地	[Symbol]		
		扇状地	微高地(自然堤防)	[Symbol]		
		氾濫平野	旧河道	旧河道(明確)	[Symbol]	
			旧河道(不明瞭)	[Symbol]		
			溝渠	[Symbol]		
			砂州・砂丘	[Symbol]		
		人工改変地形		干拓地		[Symbol]
				盛り土・埋立地		[Symbol]
切土地				[Symbol]		
運搬盛土				[Symbol]		
その他の地形等		天井川の区間		[Symbol]		
		親河道・水面		[Symbol]		
		旧道路	5.00年代標準→5.40年代前半	[Symbol]		
			5.00年代	[Symbol]		
			7.00年代→8.00年代	[Symbol]		
			8.00年代→9.00年代	[Symbol]		
		地盤高緯	主曲線	[Symbol]		
			補助曲線	[Symbol]		
			5.00年代標準→5.40年代前半	[Symbol]		
		河川管理施設等	旧堤防	旧堤防		[Symbol]
5.00年代	[Symbol]					
7.00年代→8.00年代	[Symbol]					
8.00年代→9.00年代	[Symbol]					
完成堤防	[Symbol]					
河川管理施設等(許可工作物も含む)	堤防	暫定堤防	[Symbol]			
		暫々定堤防	[Symbol]			
		護岸	[Symbol]			

治水地形分類図：治水対策を進めることを目的に、国が管理する河川の流域のうち主に平野部を対象として、扇状地、自然堤防、旧河道、後背湿地などの詳細な地形分類及び堤防などの河川工作物等を表示している主題図（引用、国土地理院HP）

ここでは、洪水流と氾濫流、河床変動の一体解析による解析結果と治水地形分類図、主要インフラの整備・市街化の変遷の関係を分析し、令和2年7月洪水による被害の実態を考察する。



# 川辺川合流点から人吉における堤内地の居住地の変遷と浸水範囲



凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	段丘面	段丘面		
		崖(段丘崖)		
		深い谷		
低地	山麓堆積地帯			
	氾濫地			
氾濫地	氾濫平野	狭帯氾濫地		
		氾濫地(自然埋没)		
	氾濫平野	旧河道(明確)		
		旧河道(不明瞭)		
		薄層		
		砂州・砂丘		

- 65km~63kmの区間は両岸に段丘面が迫り、氾濫域が段丘面に規定されている。
- 川辺川および小纏川との合流点では、<sup>こさで</sup>両岸の氾濫平野に浸水が生じている。
- 右岸側の人吉市街地については、段丘面が後退する62km付近(右岸)から浸水が生じている。



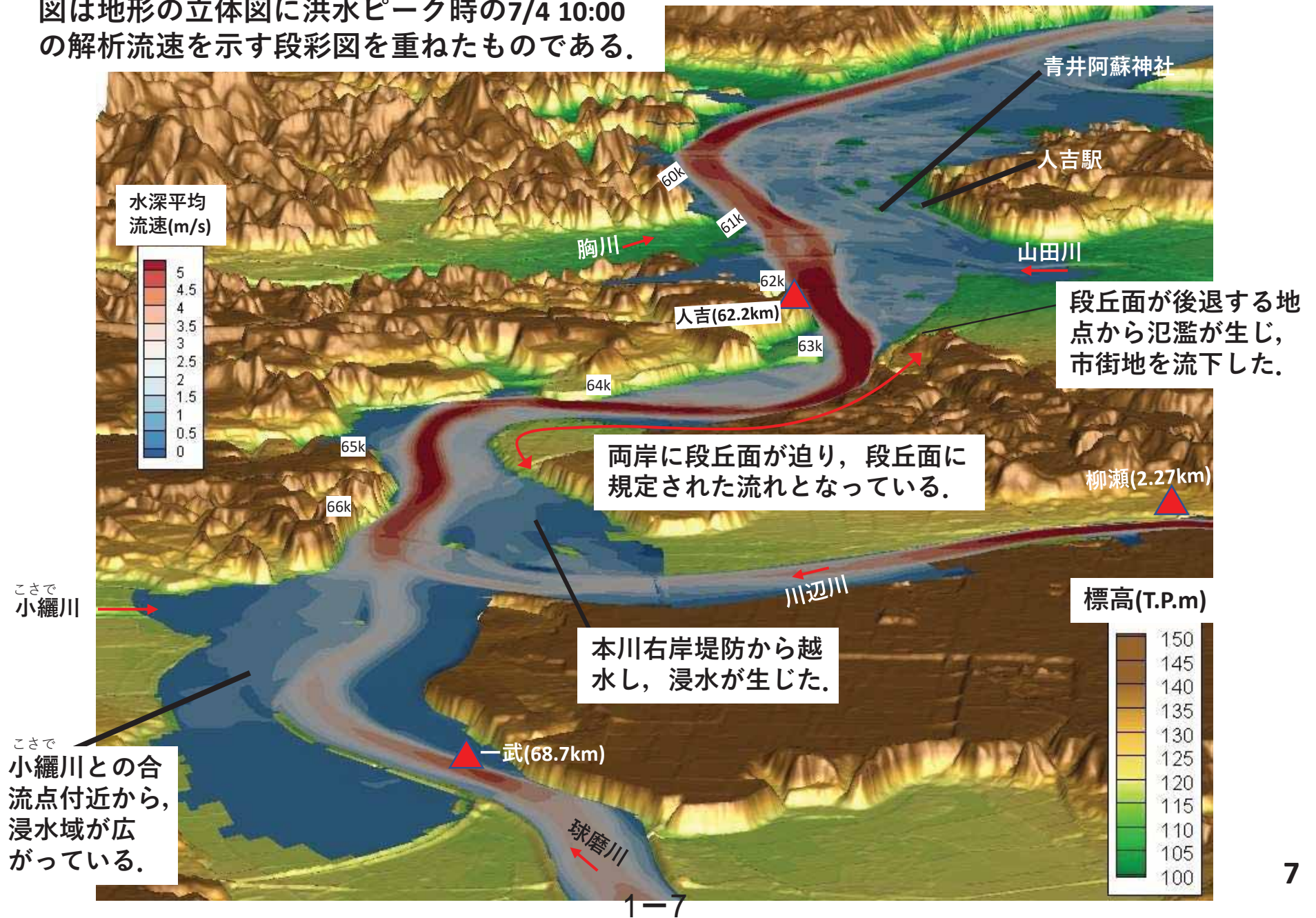
**錦町の人口変遷**  
 (R3.2.1,住民基本台帳)  
 世帯数:3,922  
 人口:10,525  
 (S45,国勢調査)  
 人口:10,859

**相良村の人口変遷**  
 (R3.1末,住民基本台帳)  
 世帯数:1,610  
 人口:4,250  
 (S45,国勢調査)  
 人口:6,241



# 川辺川との合流点から人吉市街地の流況（ピーク時：7/4 10:00）

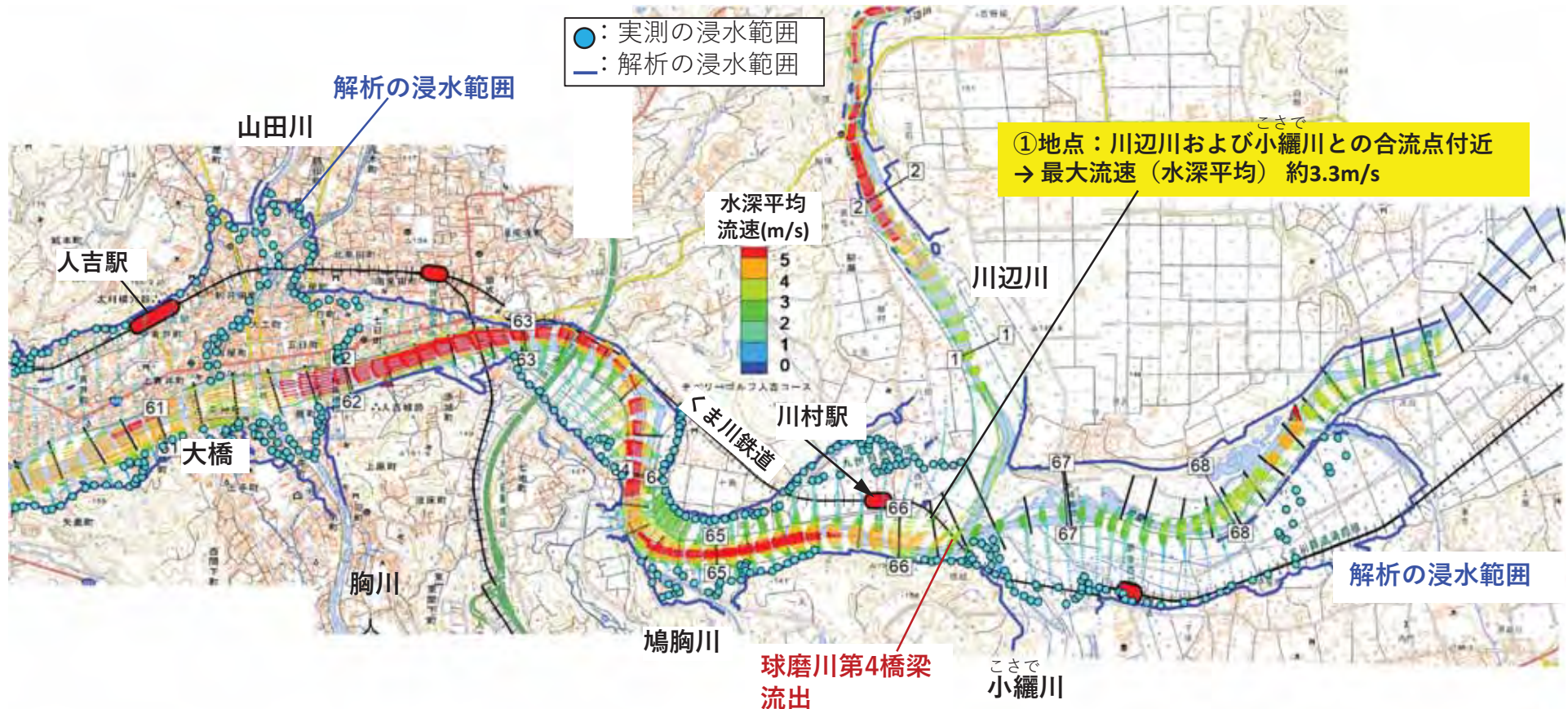
図は地形の立体図に洪水ピーク時の7/4 10:00の解析流速を示す段彩図を重ねたものである。





# 川辺川合流点から人吉地区の洪水ピーク時(7/4 10:00)の流況

段丘面の後退する地点（62km右岸から）から氾濫が生じている。  
65km~63kmの区間は兩岸に段丘面が迫り、その上流の川辺川および小纏川との合流点で浸水範囲が広がっている。また、66km付近では本川右岸堤防からの越水により、浸水が生じている。





# ①地点（川辺川および小<sup>こさで</sup>纏川との合流点付近）の被災状況

令和2年7月8日撮影

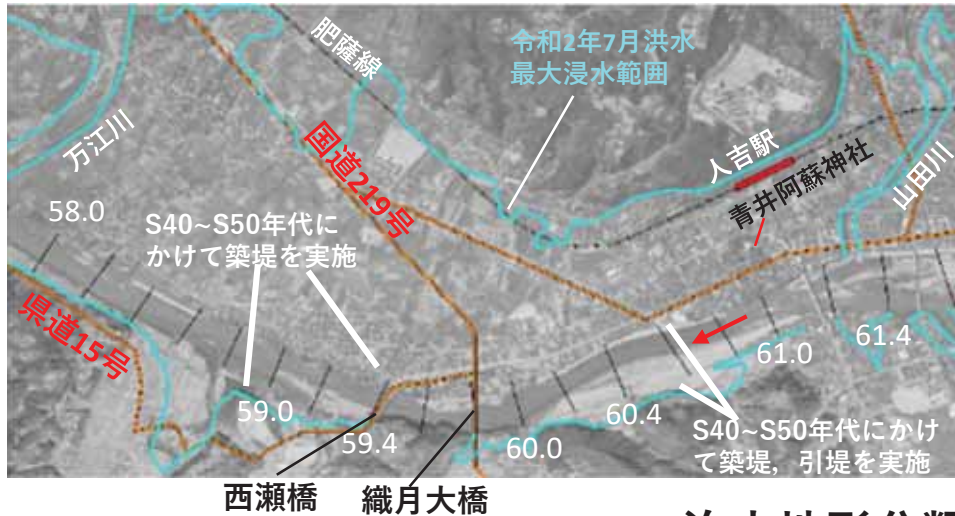


最大流速（水深平均）：約3.3m/s



# 人吉市街地における堤内地の居住地の変遷と浸水範囲の関係

昭和38年航空写真



平成21年航空写真



## 治水地形分類図



②地点：段丘面と  
氾濫平野の境界

人吉市の人口変遷  
(R2.12末,住民基本台帳)  
世帯数 :15,325  
人口:31,545  
(S47,住民基本台帳)  
世帯数 :11,613  
人口:42,043

④地点：青井阿蘇神社付近

③地点：河川と並走する主要道路

- 人吉駅や青井阿蘇神社は段丘面上に位置しているが、山田川周辺は氾濫平野となり、浸水深が大きくなりやすい特徴を有する。
- 青井阿蘇神社前の蓮池および国道から人吉出張所までの窪地は旧河道である。
- 人吉市街部では、S40～50年代にかけて築堤や引堤等が実施されている。

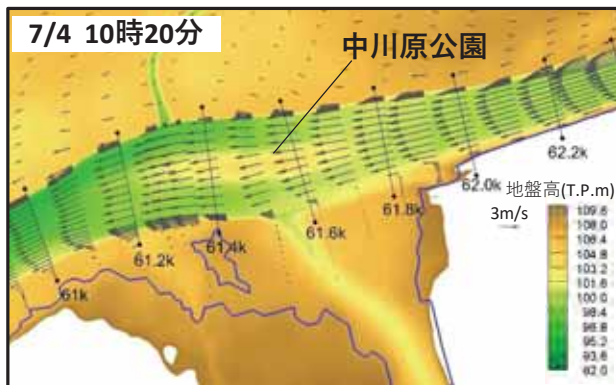
凡例				
大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地		段丘面		[Red box]
		崖(段丘崖)		[Purple box]
		深い谷		[Blue box]
低地	山麓堆積地形	扇状地		[Yellow box]
		氾濫平野		[Red box]
	扇状地	後背湿地		[Green box]
		高草地(自然植生)		[Yellow box]
氾濫平野	旧河道		[Blue box]	
	旧河道(不明確)		[Light blue box]	
		沼		[Light blue box]
		砂州・砂丘		[Yellow box]



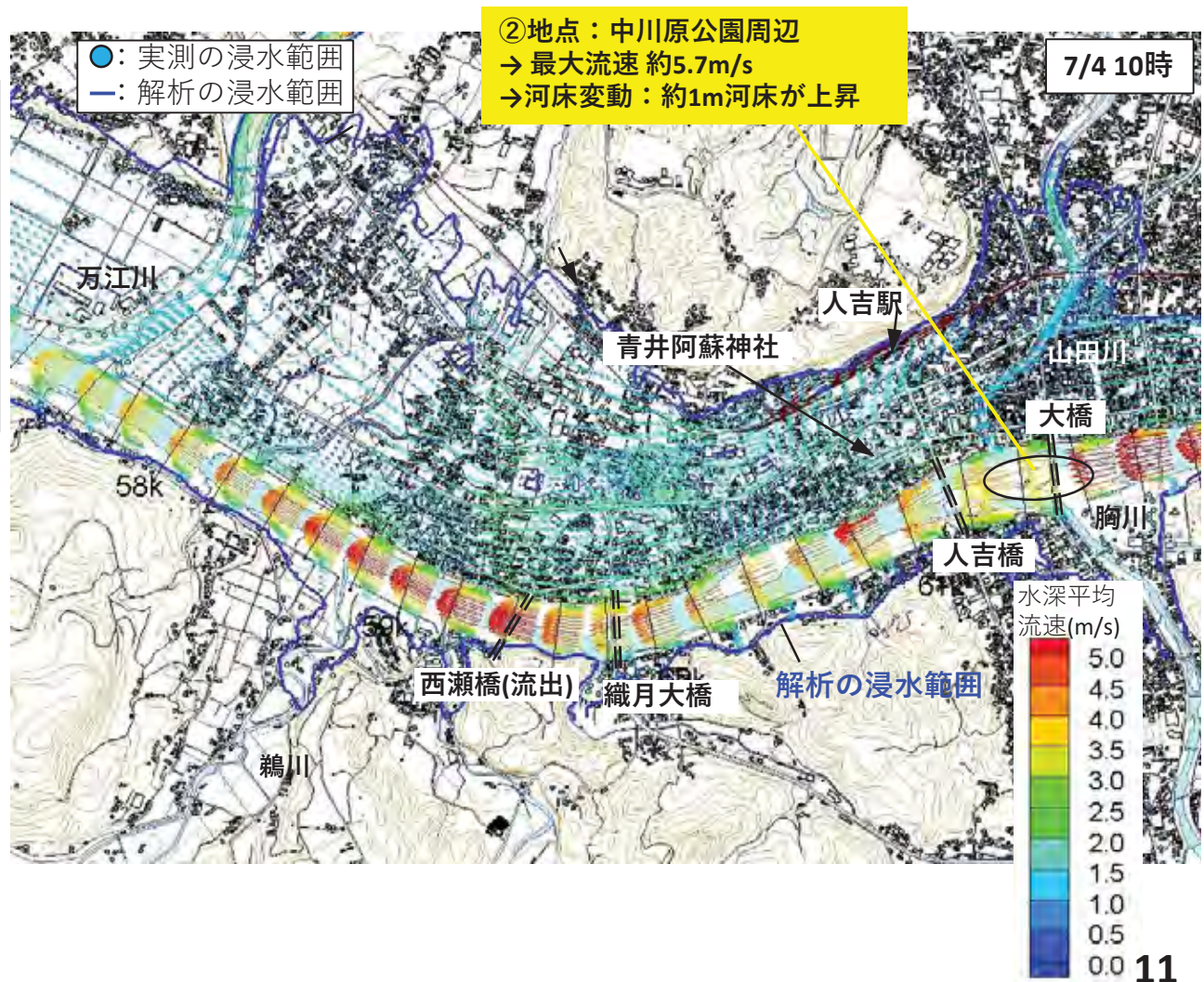
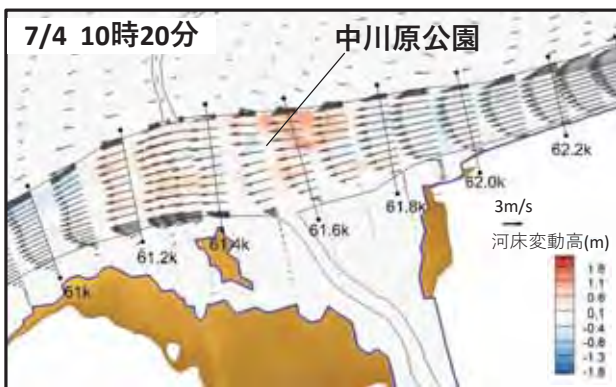
# 人吉地区における洪水流，河床変動，氾濫流の解析結果

- 人吉地区は，氾濫域の地盤高が比較的高く急勾配であるため氾濫流の流速が大きい。
- 中川原公園は，洪水時に抵抗となり，上流側の水位を高めるとともに，公園周辺では土砂堆積傾向となる。

中川原公園周辺の水深平均流速（解析）



中川原公園周辺の河床変動状況（解析）





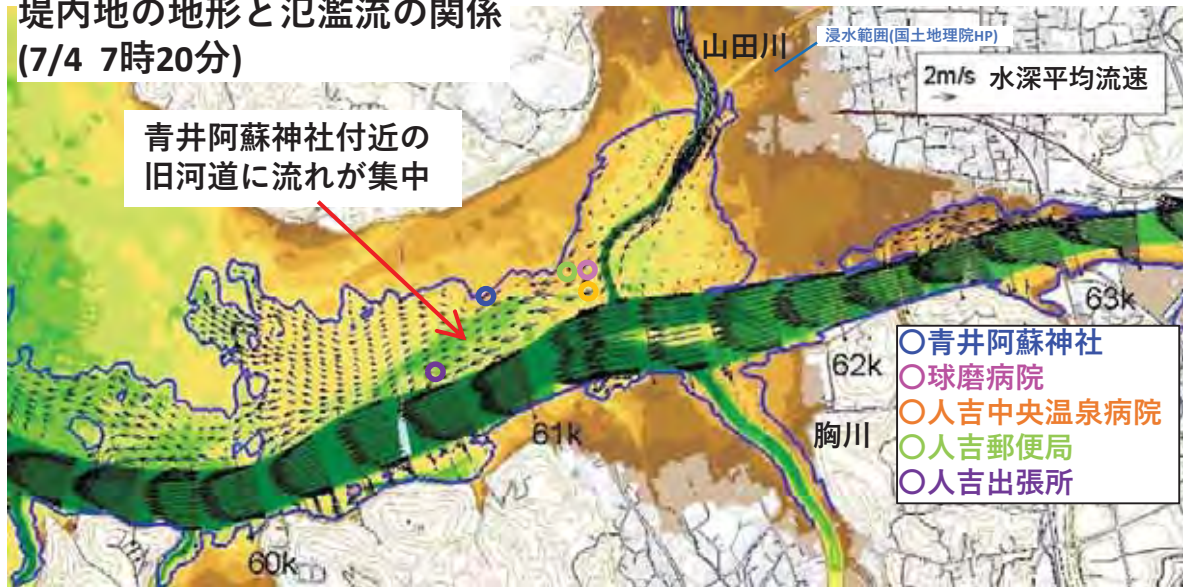
## 人吉地区②地点（中川原公園周辺）の状況



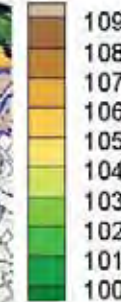


# 人吉地区における氾濫開始～洪水ピーク時の流況(7/4 7:20)

堤内地の地形と氾濫流の関係  
(7/4 7時20分)



地盤高  
(T.P.m)



- 球磨川の水位が高まり，氾濫が生じ始める。
- 山田川周辺の氾濫は，本川水位の背水の影響によるものである。

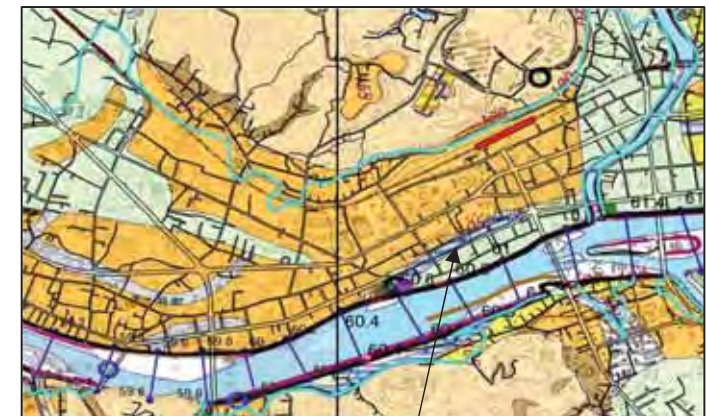
治水地形分類図の凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
台地・段丘		段丘面		
		崖(段丘崖)		
		浅い谷		
低地	山麓堆積地形			
	扇状地			
	氾濫平野			
	氾濫平野	後背湿地		
	扇状地	段高地(自然堤防)		
氾濫平野		旧河道(明瞭)		
		旧河道(不明瞭)		
		落盤		

道路網と氾濫流の関係  
(7/4 7時20分)



治水地形分類図



青井阿蘇神社付近の旧河道 13

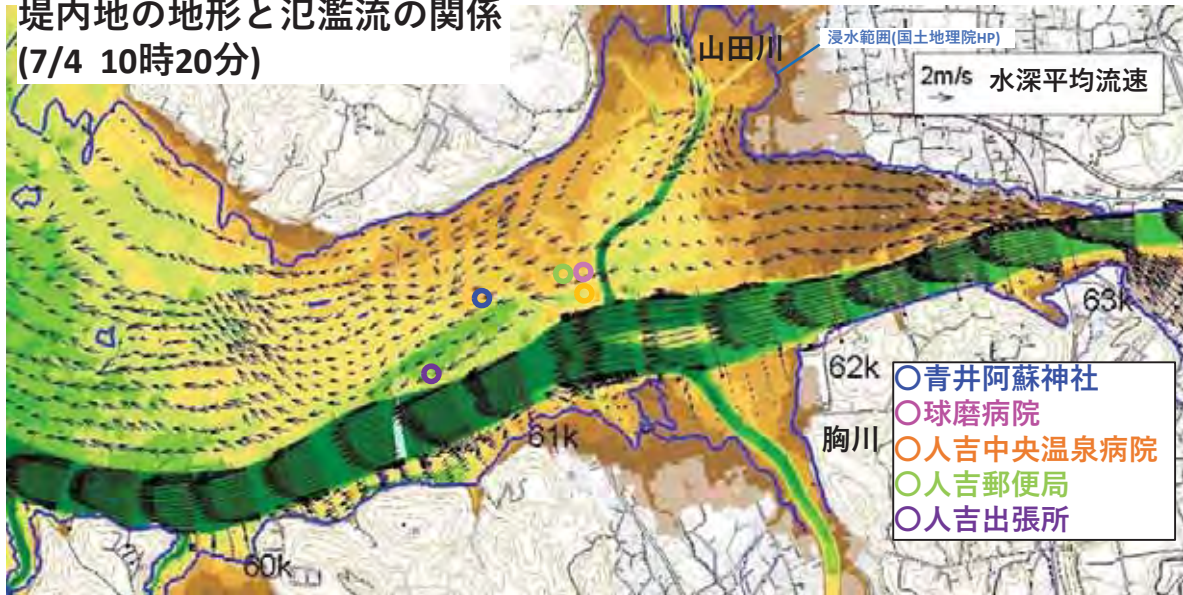
③地点：河川と並走する主要道路  
→ この時点では浸水なし

④地点：青井阿蘇神社付近  
→ 最大流速 約0.7m/s

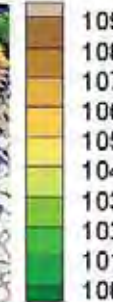


# 人吉地区における洪水ピーク時の流況(7/4 10:20)

堤内地の地形と氾濫流の関係  
(7/4 10時20分)



地盤高  
(T.P.m)



- 河川と並走する道路（③地点）は高流速が発生しやすい。
- 青井阿蘇神社周辺（④地点）は、周囲より地盤高が低く、氾濫流が集中し流速が大きくなりやすい。

治水地形分類図の凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
台地・段丘		段丘面		
		崖(段丘崖)		
		深い谷		
低地	山麓堆積地形			
	扇状地			
	氾濫平野			
	氾濫平野	後背湿地		
	扇状地 氾濫平野	費高地(自然堤防)		
		旧河道(明瞭)		
		旧河道(不明瞭)		
		落石		

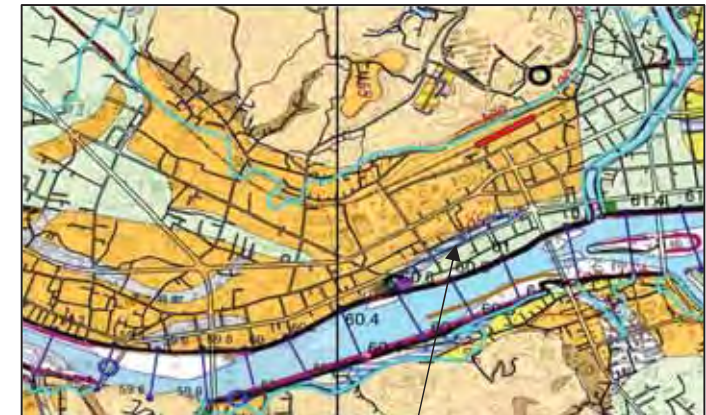
道路網と氾濫流の関係  
(7/4 10時20分)



③地点：河川と並走する主要道路  
→ 最大流速 約2.1m/s

④地点：青井阿蘇神社付近  
→ 最大流速 約1.4m/s

治水地形分類図



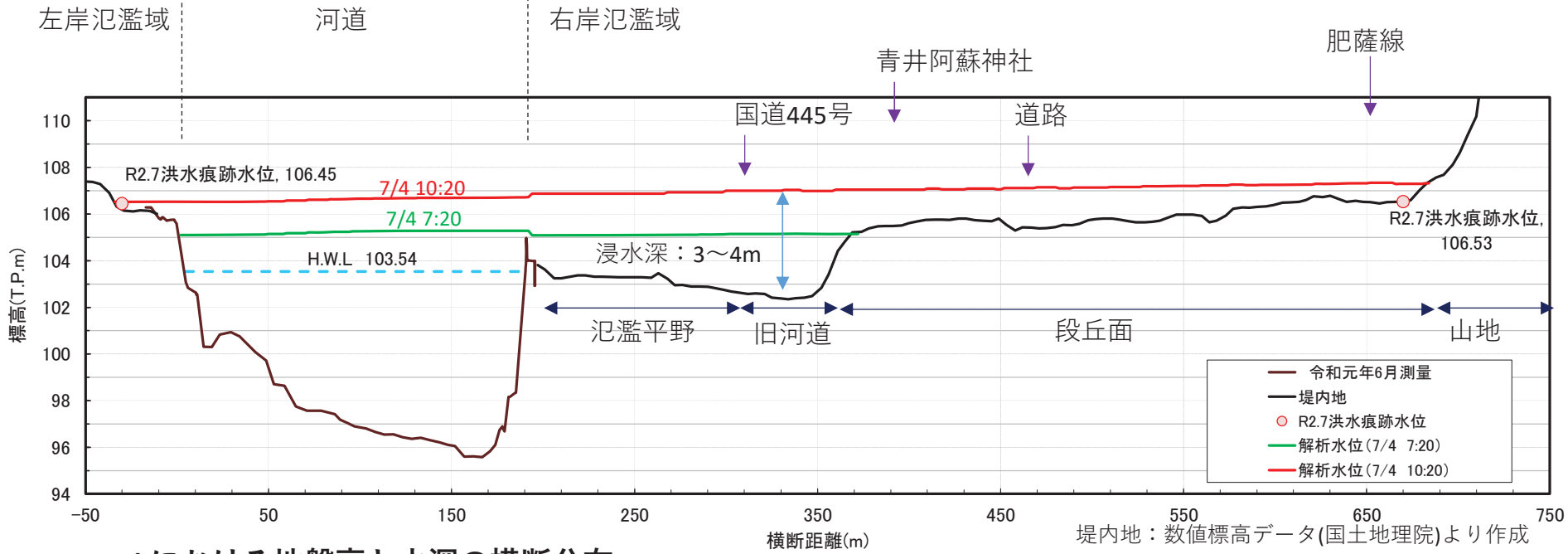
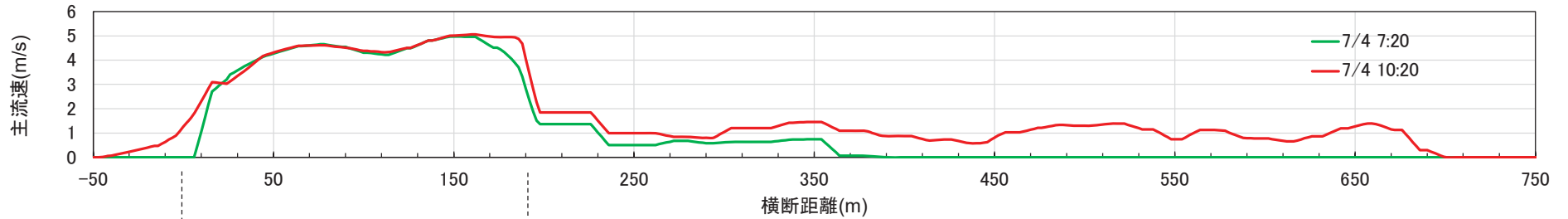
青井阿蘇神社付近の旧河道 14



# 人吉地区④地点（青井阿蘇神社周辺） 付近の水深，流速分布

河道内だけでなく氾濫域においても1～1.5m/sの流速が発生していた。青井阿蘇神社付近の旧河道では浸水深が3～4mに達していた。

61.0kにおける水深平均流速の横断分布



61.0kにおける地盤高と水深の横断分布

## 人吉地区④地点（青井阿蘇神社周辺）の被災状況



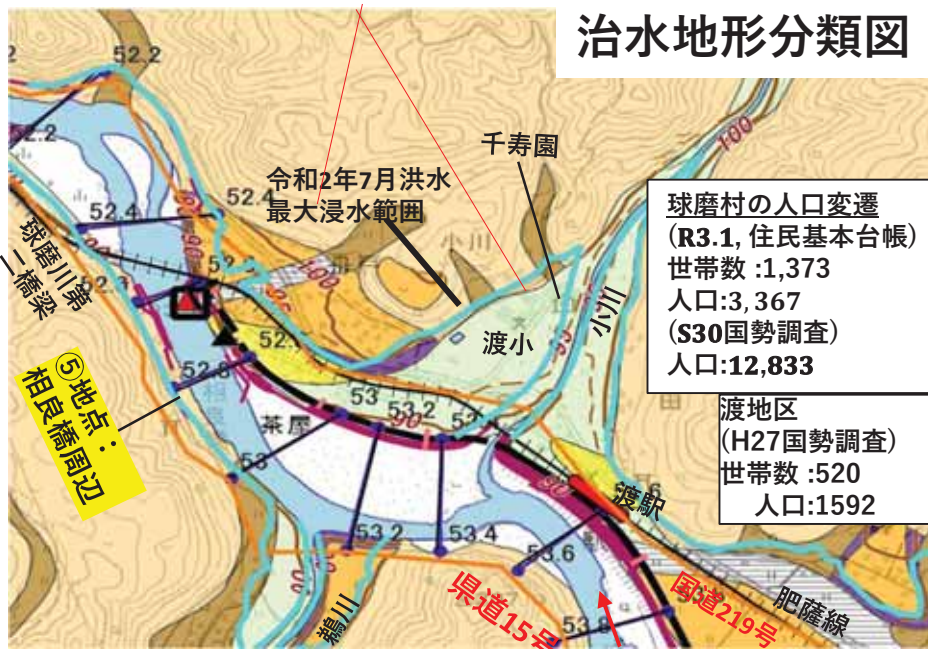
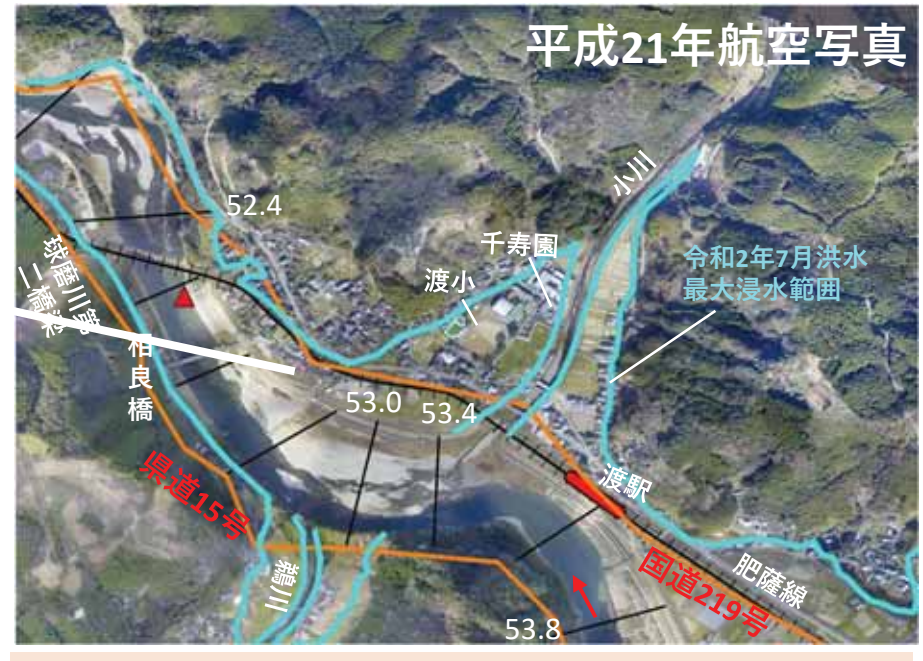
氾濫流の解析結果：  
最大浸水深：約3～4m  
最大流速（水深平均）：約1.4m/s

令和2年8月28日撮影

16



# 渡地区における堤内地の居住地の変遷と浸水範囲の関係



**球磨村の人口変遷**  
(R3.1, 住民基本台帳)  
世帯数: 1,373  
人口: 3,367  
(S30国勢調査)  
人口: 12,833

**渡地区**  
(H27国勢調査)  
世帯数: 520  
人口: 1592

- ・古くから段丘面，自然堤防帯に住宅地，渡駅が建設され，近年においてもその傾向は大きく変化していない。
- ・右岸側はs50年代から平成初頭にかけて段階的に築堤されている。
- ・氾濫平野には，小学校，高齢者施設が建設されている。

凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	台地・段丘	段丘面		[Yellow]
		崖(段丘崖)		[Purple]
		浅い谷		[Light Blue]
		山麓堆積地形		[Brown]
低地	氾濫平野	扇状地		[Light Green]
		浸濫平野	狭背湿地	[Light Green]
		扇状地	微高地(自然堤防)	[Yellow]
		氾濫平野	旧河道(明瞭)	[Blue]
		旧河道(不明瞭)	[Light Blue]	
		滞池		[Light Blue]
		砂州・砂丘		[Yellow]

人工改変地形	干拓地	[Light Green]
	埋立地・埋立地	[Yellow]
	切土地	[Light Blue]
	運搬堆土	[Light Blue]
その他の地形等	天井川の区間	[Light Blue]
	既河道・水渠	[Light Blue]
	旧河道	[Light Blue]
	地盤高線	[Light Blue]
河川管理施設等	旧堤防	[Light Blue]
	堤防	[Light Blue]
	河川管理施設(許可工作物も含む)	[Light Blue]
	堤防	[Light Blue]



# 渡地区における洪水ピーク時の流況解析 (7/4 10:40)

渡地区では氾濫域の水深が大きいいため、洪水が河道内と氾濫域を一体的に流下し、複断面的蛇行流れとなった。

被害の大きかった⑤地点は、内岸側の主流が走る場所に位置している。





## 渡地区⑤地点（相良橋周辺）の被災状況

令和2年7月8日撮影



## 渡地区⑥地点（沖鶴橋周辺）の被災状況

令和2年7月8日撮影

氾濫流の解析結果：  
最大浸水深：約6.6m  
最大流速（水深平均）：約2.1m/s

家屋群が被災

沖鶴橋の流出

球磨川

20

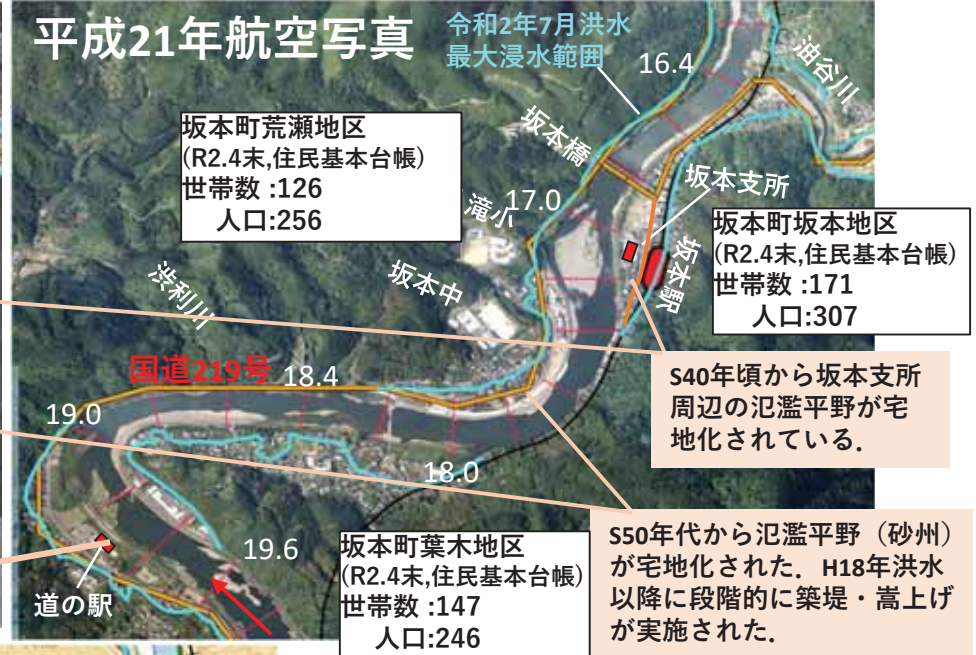
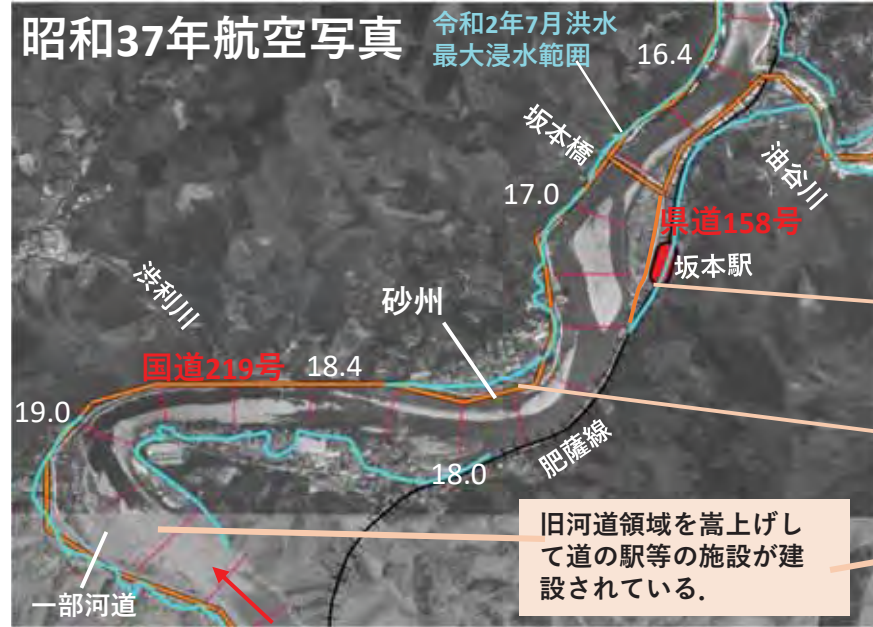


# 渡地区⑦地点（堤防決壊箇所付近）の被災状況



令和2年9月8日撮影【出水後】

# 坂本地区における堤内地の居住地の変遷と浸水範囲の関係



旧坂本村地域の人口の変遷  
(R2.4末, 住民基本台帳)  
世帯数:1,661  
人口:3,329  
(S50国勢調査)  
世帯数:2,507  
人口:10,308

凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地		段丘面		[Yellow]
		崖(段丘崖)		[Purple]
		浅い谷		[Light Blue]
		山麓堆積地形		[Brown]
低地		扇状地		[Light Green]
		氾濫平野		[Light Green]
		氾濫平野	後背湿地	[Light Green]
		扇状地	微高地(自然堤防)	[Light Green]
		氾濫平野	旧河道	旧河道(明瞭)
		旧河道(不明瞭)	[Light Blue]	
		落堤		[Light Blue]
人工改変地形		干拓地		[Yellow]
		盛土地・埋立地		[Yellow]
		切土地		[Grey]
		連続盛土		[Grey]



# 坂本地区における洪水ピーク時の流況解析

急湾曲部では洪水時に主流（高流速域）が内側を走り、湾曲部下流では主流が外岸に移動する。坂本地区において家屋流出等が確認された地点は、急湾曲部の内側（⑧地点、⑨地点）と湾曲部下流の外岸（⑩地点）に位置する。一方、湾曲部下流の水裏に位置する道の駅坂本周辺等は浸水被害はあるものの氾濫水の流速は小さい。



7月5日の斜め写真を見る限り、油谷川と渋利川合流点で顕著な土砂堆積は見られない





## 坂本地区⑧地点（急湾曲内岸）の被災状況





# 坂本地区⑨地点（坂本中学周辺）の被災状況

氾濫流の解析結果：  
最大浸水深：約6.6m  
最大流速（水深平均）：約5.4m/s





# 坂本地区⑩地点（坂本駅周辺）の被災状況





# まとめ1

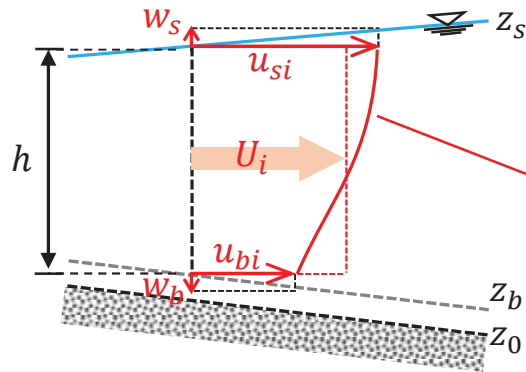
- 球磨川は急流河川であることから河道と氾濫域が一体的に流れる流下型の氾濫形態を呈し、河道が低水路で、堤内地があたかも複断面河道の高水敷のように振る舞うことによる被災形態を示した。
- 人吉市街地では、段丘面が後退する区間から浸水が生じ、球磨川に平行して東西に整備されている主要道路や、微高地である段丘面から低地である氾濫平野に落ち込む箇所では、2m/sを超える氾濫流速が見られた。これが周辺家屋等の破壊に繋がった可能性がある。
- 河道内に存在する中川原公園は、洪水時に抵抗として作用し、上流側の水位を高めるとともに、公園周辺では土砂堆積傾向となることが本解析モデルにより確認された。（ただし、現時点では洪水後の横断測量データが得られていないため、本資料の河床変動については解析結果のみを示した。今後は河床変動解析の妥当性検証を実施し、土砂堆積機構を明らかにしていく。）
- 渡（52.7k、山間狭隘部と盆地部の境界）～万江川合流点（57.6k）の区間では、複断面的蛇行流れの特徴である主流位置の内岸側への集中が顕著に現われていた。これが、内岸砂州上の氾濫原に存在する家屋群に大きな破壊力を及ぼしたことに加え、氾濫流が狭隘区間へ集中するため水位が高まり浸水深が5m以上にも達したことにより、甚大な家屋被害をもたらされたことが分かった。

## まとめ2

- 狭隘区間の坂本地区では、谷の線形に規定され、湾曲内岸側を直進する高速流が生じ、多数の家屋及び河岸の護岸損壊被害を生じさせたと考えられる。
- 坂本地区、渡地区において浸水被害の発生した区域の多くは氾濫原に位置する。家屋被害等の特に大きい地点は、湾曲の内岸および湾曲部下流の外岸に位置し主流の走る場所であった。このような場所では、今後発生する超過洪水に対して、氾濫流による家屋倒壊等の甚大な被害が発生する危険性も想定した上で、嵩上げ高の検討や建築物等の構造検討を行うなど、超過洪水リスクにも備えた復興・まちづくりの観点が必要である。
- 洪水後の航空写真より、支川（小川等）からの土砂流出が顕著であったことが確認された。支川からの大量の土砂供給は、本川の洪水流・河床変動に影響を及ぼすことから、支川の河道特性や地質、河床材料等について今後詳細な調査検討が必要になる。
- 氾濫原でも湾曲部下流の水裏等の氾濫流速が小さい場所では、嵩上やピロティー構造等が氾濫被害リスクの低減に有効と考えられる。



# 【参考資料】非定常準三次元解析法:Q3D-FEBS



$$u_i = \Delta u_i(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + \delta u_i(-4\eta^3 + 3\eta^2) + U_i$$

$$\Delta u_i = u_{si} - U_i, \delta u_i = u_{si} - u_{bi}$$

$$\eta = (z_s - z) / h: \text{無次元水深}$$

流速鉛直分布  
(三次関数)

水面の運動方程式

水深積分の連続式・運動方程式

底面の運動方程式

## 水深積分の連続式・運動方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U_i h}{\partial x_i} = 0$$

● 非静水圧項

● 流速鉛直分布による運動量輸送項

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_j U_i h}{\partial x_j} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \bar{p}'}{\partial x_i} - \frac{p'_b}{\rho} \frac{\partial z_b}{\partial x_i} - \frac{\partial h \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_j} h \left[ \nu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] - \hat{S} \nu_{tb} \frac{\partial u_i}{\partial z} \Big|_b - F_{wi}/\rho - F_{bi}/\rho - F_{si}/\rho$$

● 樹木群, 橋桁, 護岸から受ける抵抗力

$i, j = 1, 2$  ( $x_1 = x, x_2 = y$ )  
 $t$ : 時間  
 $h$ : 水深  
 $U_i$ : 水深平均の*i*方向流速  
 $z_s$ : 水位  
 $z_b$ : 底面

$g$ : 重力加速度  
 $\rho$ : 水の密度  
 $\bar{p}'$ : 水深平均の非静水圧  
 $p'_b$ : 底面の非静水圧  
 $\nu_t$ : 水深平均の渦動粘性係数  
 $\nu_{tb}$ : 底面の渦動粘性係数

$\hat{t}_{bz}$ : 底面せん断力の鉛直方向成分  
 $u'_i = u_i - U_i$   
 $\hat{S} = \sqrt{1 + (\partial z_b / \partial x_i)^2}$   
 オーバーバー-'': 水深平均を表す.  
 $F_w$ : 樹木群から受ける抵抗力  
 $F_b$ : 橋桁から受ける抵抗力  
 $F_s$ : 護岸から受ける抵抗力

竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019.7.

# 【参考資料】非定常準三次元解析法:Q3D-FEBS

## 水深平均及び底面の非静水圧

$$\frac{\bar{p}'}{\rho} = \frac{1}{2} \frac{p'_b}{\rho} + \frac{1}{12} U_i h \frac{\partial w_s - w_b}{\partial x_i} \quad \frac{p'_b}{\rho} = U_i h \frac{\partial W}{\partial x_i} + \hat{S} \frac{\hat{t}_{bz}}{\rho}$$

## 水面の運動方程式

$$\frac{\partial u_{si}}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial u_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \Big|_s \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \tilde{S} v_{ts} \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \Big|_s \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \Big|_s = -u_{si} \frac{\partial w_s}{\partial x_i}$$

● 非静水圧項

## 底面の運動方程式

$$\frac{\partial u_{bi}}{\partial t} + u_{bj} \frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'_b}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \Big|_b \frac{\partial z_b}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ v_{tb} \left( \frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_{bj}}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\hat{S}}{\delta z_b} \left( v_{tb} \frac{\partial u_i}{\partial z} \Big|_b - c_b^2 u_{bi} |u_b| \right) \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \Big|_b = -u_{bi} \frac{\partial w_b}{\partial x_i}$$

● 非静水圧項

$\bar{p}'$ : 水深平均の非静水圧  
 $p'_b$ : 底面の非静水圧  
 $g$ : 重力加速度  
 $\rho$ : 水の密度  
 $h$ : 水深  
 $U_i$ : 水深平均の*i*方向流速  
 $z_s$ : 水位  
 $z_b$ : 底面

$w_s$ : 鉛直方向の水面流速  
 $w_b$ : 鉛直方向の底面流速  
 $W$ : 水深平均の鉛直方向流速  
 $u_s$ : 水面の流速  
 $u_b$ : 底面の流速  
 $v_{ts}$ : 水面の渦動粘性係数  
 $v_{tb}$ : 底面の渦動粘性係数

$$c_b = \frac{c_0}{1-2c_0/\kappa} \sqrt{1+c_{zb}}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{gn^2}{h^{1/3}}}$$

$n$ : マニングの粗度係数  
 $\kappa=0.4$   
 $c_{zb}=0.03$

$$\hat{S} = \sqrt{1 + (\partial z_s / \partial x_i)^2}$$



# 【参考資料】 樹木群，橋桁，護岸から受ける抵抗力

## 樹木群から受ける抵抗力

$$\frac{F_{wi}}{\rho} = \frac{gh_{tree}}{K^2} U_i \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$$

$$i = 1, 2 (x_1 = x, x_2 = y)$$

$g$  : 重力加速度,  $h_{tree}$  : 樹高,

$K$  : 樹木群透過係数

## 橋桁から受ける抵抗力

$$\frac{F_{bi}}{\rho} = \frac{1}{2} C_D U_i \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \frac{A'}{A}$$

$$i = 1 (x_1 = x)$$

$A$  : 計算格子面積

$A'$  : 投影面積 =  $B \cdot \min(\Delta h, 2m)$

$B$  : 計算格子の幅

$\Delta h$  : 橋桁の喫水

$C_D$  : 抗力係数(=1)

- ・ 痕跡水位と橋の桁下高との関係から，洪水時には橋桁が洪水流の流下を阻害している。
- ・ 桁下から欄干までの高さを2mと推定し，通水面積の減少，抵抗を考慮した。

## 護岸から受ける抵抗力（中川原公園等）

$$\frac{F_{si}}{\rho} = \frac{1}{2} C_D U_i \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \frac{A'}{A}$$

$$i = 1 (x_1 = x)$$

$A$  : 計算格子面積

$A'$  : 投影面積 =  $B \cdot \min(h, H_s)$

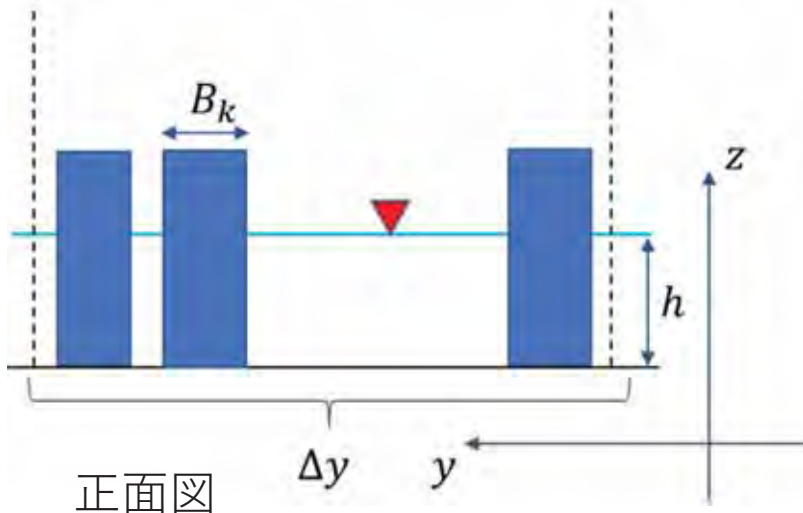
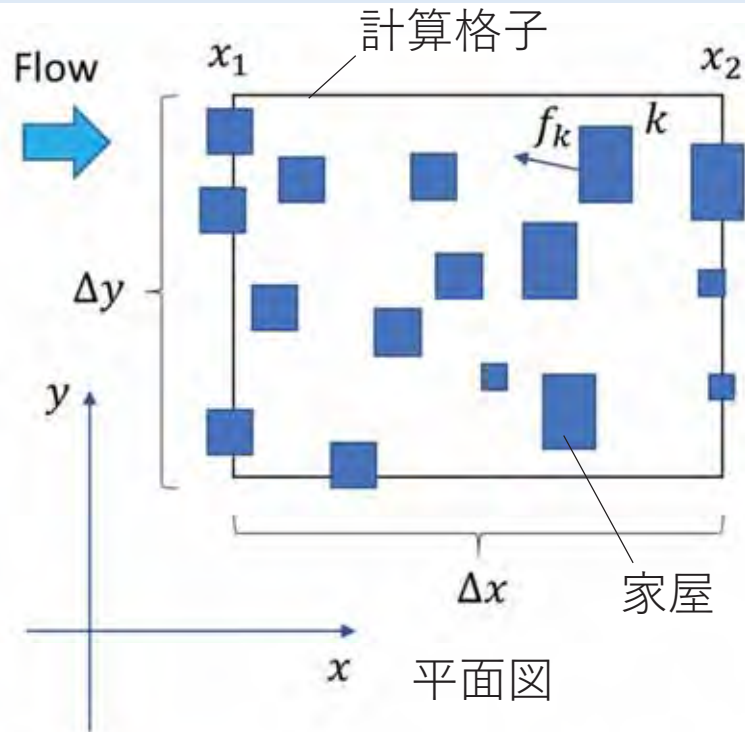
$B$  : 計算格子の幅

$h$  : 護岸全面の水深

$H_s$  : 護岸の高さ

$C_D$  : 抗力係数(=1)

# 【参考資料】 氾濫域の家屋群の取り扱い



- ① 氾濫ボリュームを適切に評価するため、家屋内への湛水を考慮する。
- ② 家屋群は流れの障害要因となるため、家屋が占有する箇所は流下断面積から除外する。
- ③ 格子内における家屋群からの流体力は、流速と投影面積、抗力係数を用いて評価する。

流体占有率：  $\lambda = \frac{\sum_k a_k}{\Delta x \Delta y}$      $a_k$  : 家屋の1棟の面積

流体占有率 $\lambda$ を考慮した連続式

$$\frac{\partial \lambda h}{\partial t} + \frac{\partial \lambda U_i h}{\partial x_i} = 0 \quad \longrightarrow \quad \underbrace{\frac{\partial h}{\partial t}}_{\text{①}} + \underbrace{\frac{\partial \lambda U_i h}{\partial x_i}}_{\text{②}} = 0$$

流体占有率 $\lambda$ と家屋群からの抵抗力を考慮した運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \lambda U_i h}{\partial t} + \frac{\partial \lambda U_i U_j h}{\partial x_j} = \\ & -\lambda g h \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \sum_k f_{ki} / \rho + \frac{\partial}{\partial x_j} \lambda \nu_t h \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\lambda \tau_{bi}}{\rho} \\ & \sum_k f_{ki} / \rho = \frac{1}{2} C_D U_i \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \frac{A'}{A} \quad \text{③} \end{aligned}$$

$A$  : 計算格子面積,  $A'$  : 投影面積 =  $(1 - \lambda) B h$



# 【参考資料】河床変動解析法（修正長田・福岡モデル）

## 流砂の連続式

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} = -\frac{\alpha_2}{\alpha_3} \sum_{k_{max}} (P_k - D_k)$$

$z_0$ : 河床高,  $\alpha_2 = \pi/4$ ,  $\alpha_3 = \pi/6$   
 $P_k$ : pickup rate,  $D_k$ : deposition rate

## 河床表層における粒径 $d_k$ の存在割合

$$\frac{\partial p_k}{\partial t} = -\frac{1}{L_s} \frac{\alpha_2}{\alpha_3} (P_k - D_k) - \frac{p_k|_{z_0}}{L_s} \frac{\partial z_0}{\partial t}$$

$p_k$ : 河床表層における粒径  $d_k$  の存在割合  
 $p_{0k}$ : 堆積層における粒径  $d_k$  の存在割合  
 $L_s$ : 掃流層厚

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} \geq 0 \quad p_k|_{z_0} = p_k$$

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} < 0 \quad p_k|_{z_0} = p_{0k}$$

## 流砂体積の連続式

$$\frac{\partial V_k}{\partial t} + \frac{\partial q_{Bki}}{\partial x_i} = P_k - D_k \quad q_{Bki} = \overline{u_{pk,x_i}} \cdot V_k$$

$\bullet$  粒径  $d_k$  の単位面積あたりの流砂体積  
 $\bullet$  粒径  $d_k$  の平均移動速度  
 $\bullet$  粒径  $d_k$  の単位面積あたりの堆積率  
 $\bullet$  粒径  $d_k$  の単位面積あたりの離脱率  
 $i = 1, 2 (x_1 = x, x_2 = y)$

河床の局所勾配, 表面凹凸を考慮した Saltation 解析から,  $D_k$ ,  $U_{pk}$  を算定

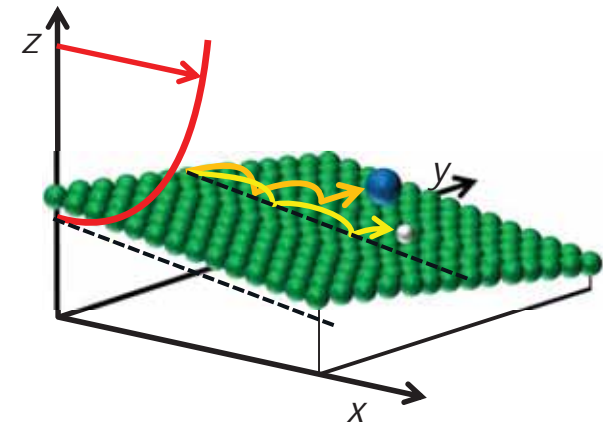
## 粒子の運動方程式 (Saltation 解析)

$$(\rho_s + \rho C_m) \alpha_3 d_k^3 \frac{du_{pk,x_i}}{dt} =$$

$$-\alpha_3 d_k^3 \left( \frac{\partial \rho g (z_s - z)}{\partial x_i} + \frac{\partial p'_b}{\partial x_i} \right) + \rho_s \alpha_3 d_k^3 g_{x_i} + \frac{\rho C_D \alpha_2 d_k^2}{2} u_{rk,x_i} \sqrt{u_{rk,x_j}^2}$$

$\bullet$  粒径  $d_k$  の移動速度  
**圧力勾配項(浮力を含む)**      **重力項**      **抗力**

$i = 1, 2, 3 (x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z)$      $\rho_s$ : 粒子の密度     $u_r$ : 粒子と流体の相対速度  
 $C_m$ : 仮想質量係数 (= 0.5),  $C_D$ : 抗力係数 (= 0.4)



# 【参考資料】河床変動解析法（修正長田・福岡モデル）

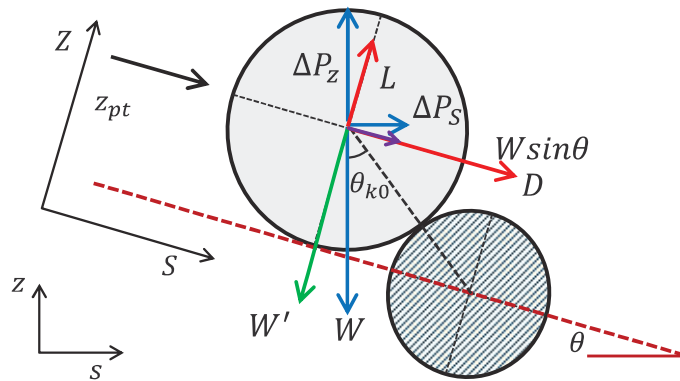
## Pickup rate

$$P_k = \alpha_3 d^3 \times \frac{\varepsilon_p}{\alpha_2 d^2} \times \frac{1}{T_{pk}}$$

粒子の平均離脱時間

$\frac{1}{\alpha_2 d^2}$  : 単位面積当たりの粒子数

$\frac{\varepsilon_p}{\alpha_2 d^2}$  : 単位幅当たりの離脱可能な粒子の数



粒子に作用する抗力

$$F_D = \rho \frac{1}{2} \alpha_2 d_k^2 C_D u_k |u_k|$$

粒子に作用する揚力

$$F_L = \rho \frac{1}{2} \alpha_2 d_k^2 C_L u_k |u_k|$$

粒子に作用する重力

$$W' = \rho_s \alpha_3 d_k^3 g \cos \theta$$

モーメント  
を考える

粒子の平均離脱時間は回転の方程式から粒子が離脱するまでの時間を求めることで評価する

### 粒子の回転の方程式

$$\frac{d^2 \theta_k}{dt^2} = - \frac{-W' \sin \theta_k + F_Z \sin \theta_k + F_S \cos \theta_k}{\frac{7}{10} (d_k + d_m) M}$$

離脱条件  $F_Z \sin \theta_k + F_S \cos \theta_k > W' \sin \theta_k$

粒子に作用する鉛直方向の流体力

$$F_Z = F_L + \left( \rho g - \frac{\partial p'}{\partial z} \right) \alpha_3 d_k^3 \cos \theta - \left( \rho g \frac{\partial z_s}{\partial s} + \frac{\partial p'}{\partial s} \right) \alpha_3 d_k^3 \sin \theta$$

粒子に作用する水平方向の流体力

$$F_S = F_D + W \sin \theta - \left( \rho g \frac{\partial z_s}{\partial s} + \frac{\partial p'}{\partial s} \right) \alpha_3 d_k^3 \cos \theta - \left( \rho g - \frac{\partial p'}{\partial z} \right) \alpha_3 d_k^3 \sin \theta$$



# 九州における今後の氾濫リスク と球磨川の治水対策

九州大学

小松利光

# 令和2年7月の九州の豪雨災害の特徴

## 球磨川水害

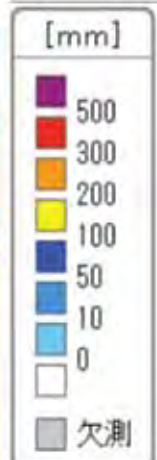
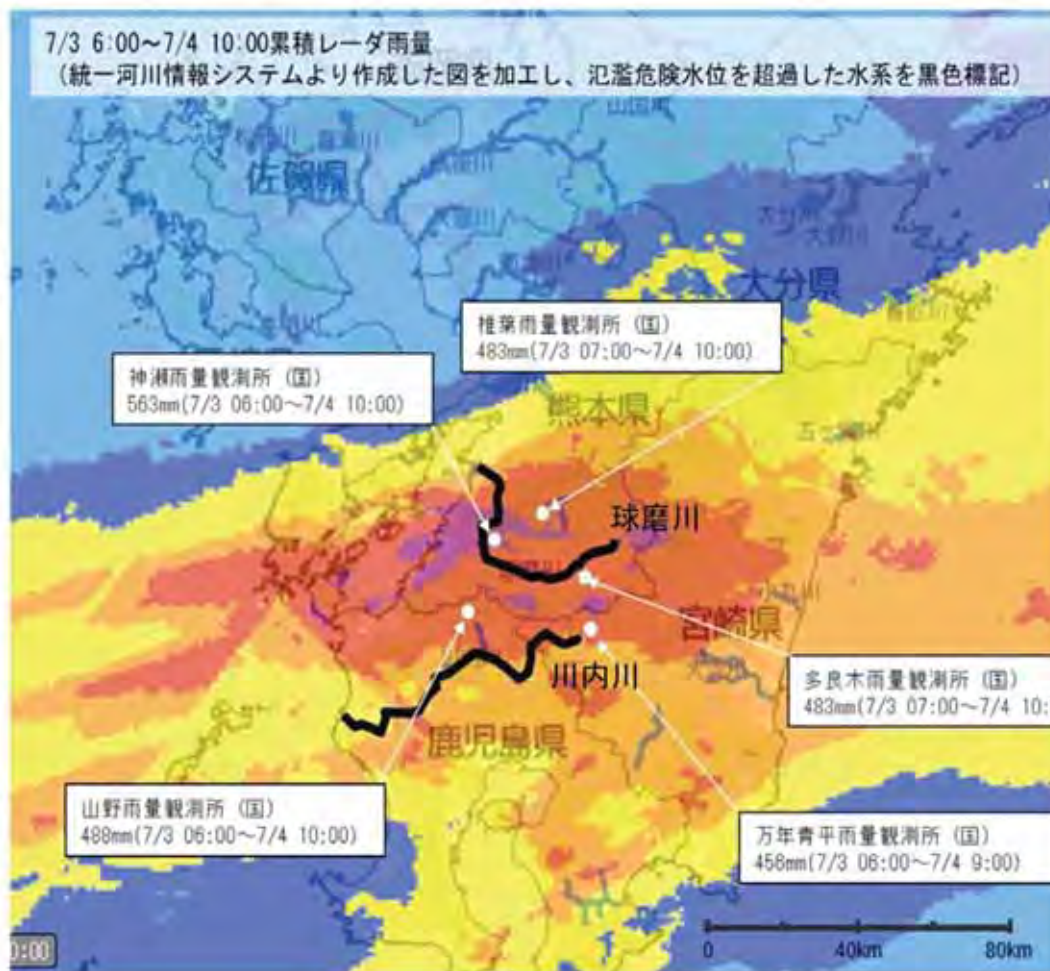
原因：流域全体に大きな降雨  
球磨川流域の独特の地形

## 筑後川水害

原因：流域全体に大きな降雨  
筑後川流域の狭窄部

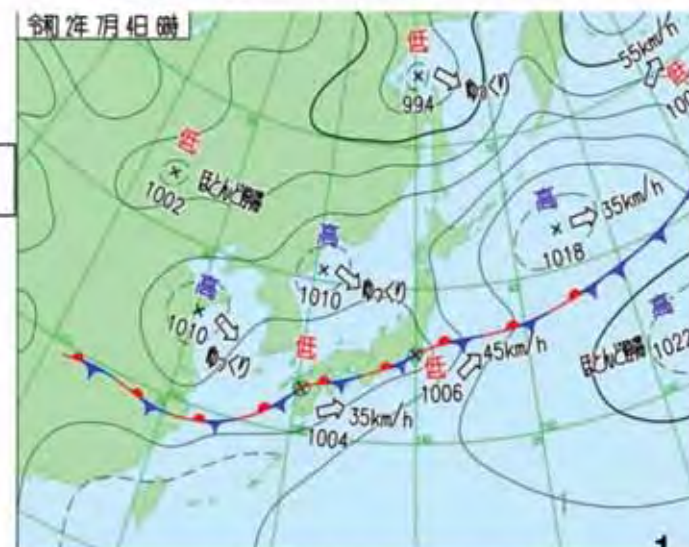


○7月3日（金）から4日（土）にかけて、梅雨前線の活発な活動により九州南部の広範囲に強い雨域がかかり、多くの雨量観測所で観測史上最多の日雨量を観測する記録的な大雨となりました。



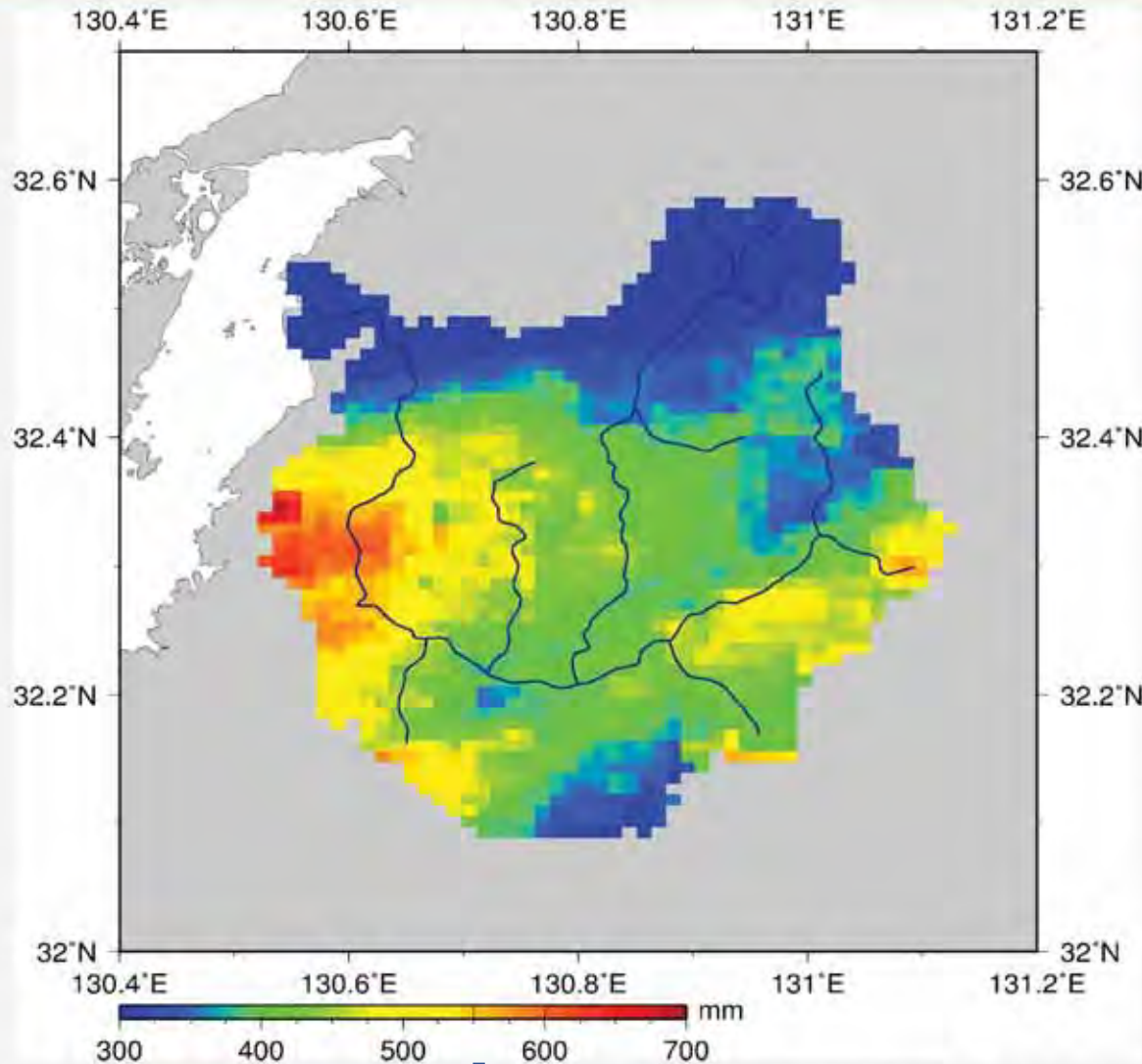
## 梅雨前線は北部九州にかかっている

天気図 (7月4日 6時頃 気象庁HPより)



※本資料の数値は速報値及び暫定値であるため、今後の調査で変わる可能性があります。

今回の球磨川水害では、水蒸気の流れ『大気の川』により大量の水蒸気が供給され、流域全体(1,880km<sup>2</sup>)に亘って猛烈な豪雨が襲ったのが特徴  
降雨特性（24時間雨量：期間7/3日10時～4日9時）



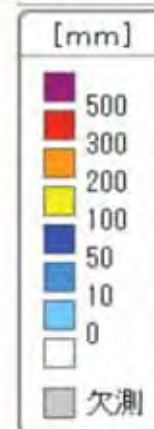
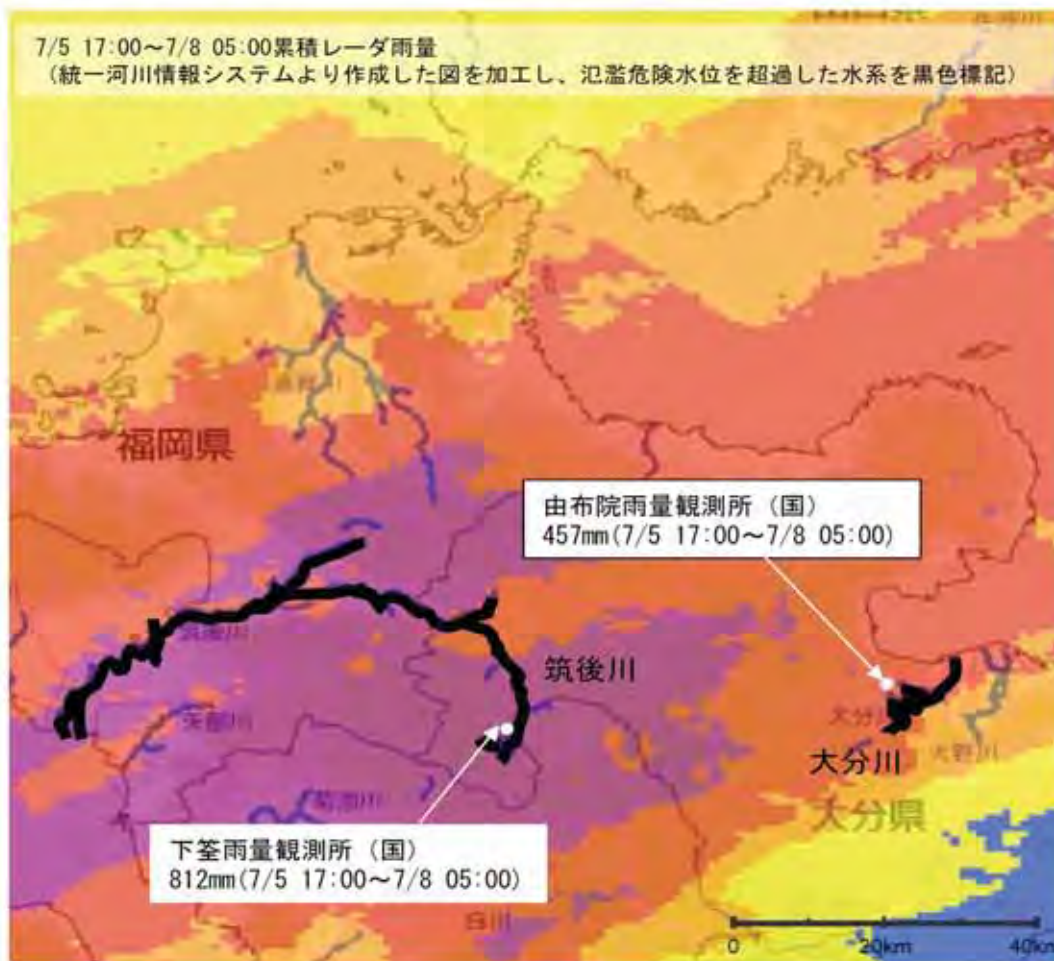
- 北部を除き多くが400mm以上
- 芦北町の支川流域は600mm以上
- 市房ダムおよび下流の残流域は500mm以上のエリアあり



# 1. 気象・降雨の概要

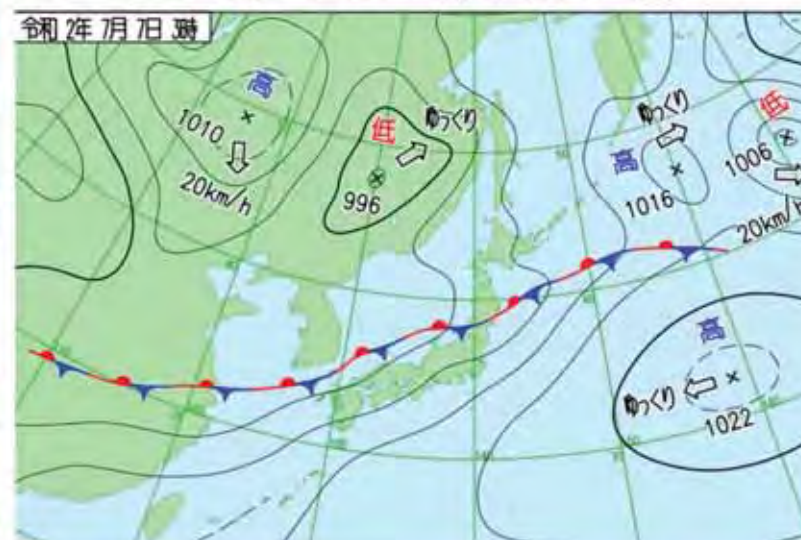
## 筑後川水害

○7月5日（日）から8日（水）にかけて、梅雨前線の活発な活動により九州北部の広範囲に強い雨域がかかり、多くの雨量観測所で観測史上最多の日雨量を観測する記録的な大雨となりました。



梅雨前線が対馬辺りに  
かかっている

天気図 (7月7日 3時頃 気象庁HPより)



※本資料の数値は連続値及び暫定値であるため、今後の調査で変わる可能性があります。

- ・ 災害外力（豪雨・台風）の強大化・広域化



### 3. 筑後川流域の概要（降雨分布）

■ 令和2年7月豪雨は、流域の広い範囲で高強度の降雨となり、平成30年を上回る降雨を観測しました。

最大48時間降雨の等雨量線図



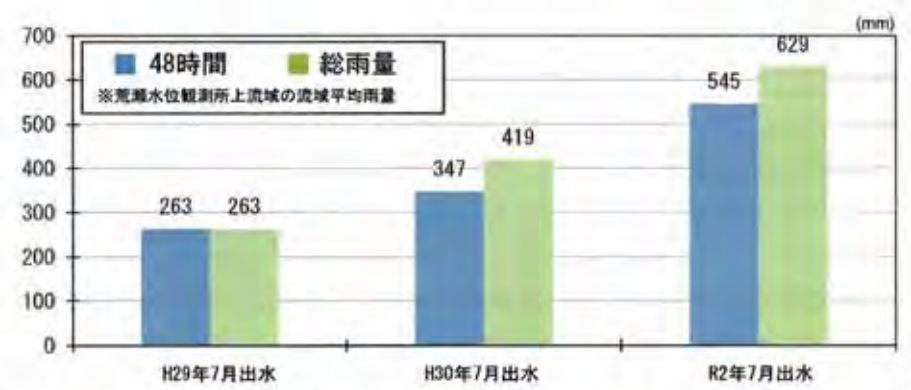
平成29年九州北部豪雨



平成30年7月豪雨



令和2年7月豪雨



※本資料の数値は、速報値及び暫定値であるため、今後の調査で変わる可能性があります。3

徐々に広域化する豪雨域

# 令和2年7月九州豪雨災害からの教訓

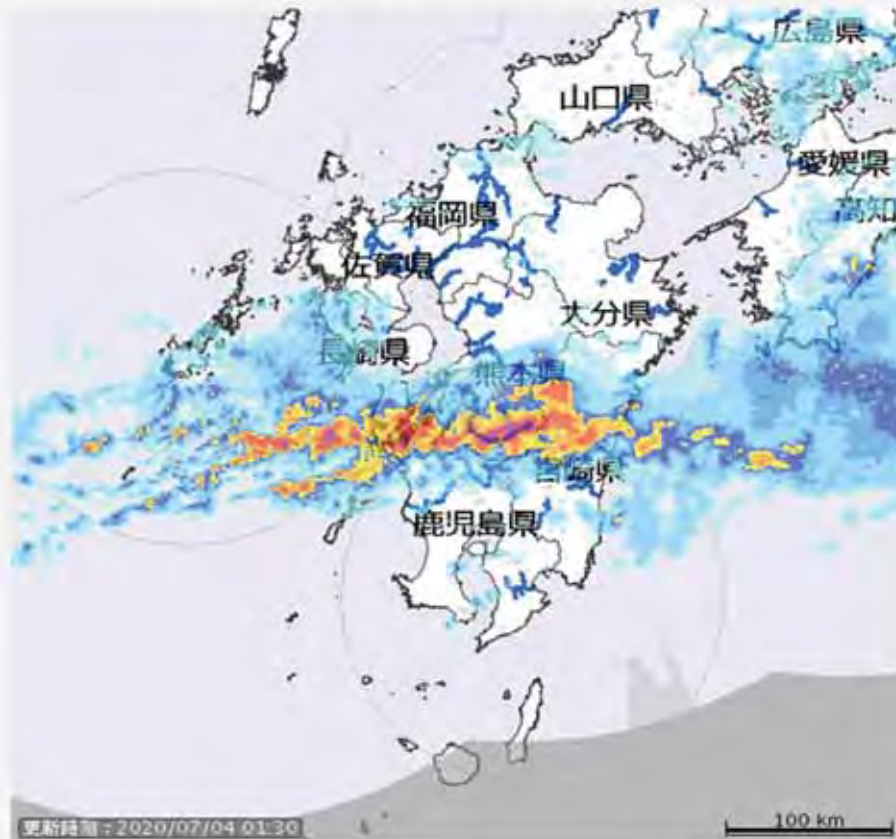


# 降雨域の広域化(一級河川の流域と雨域が重なる)

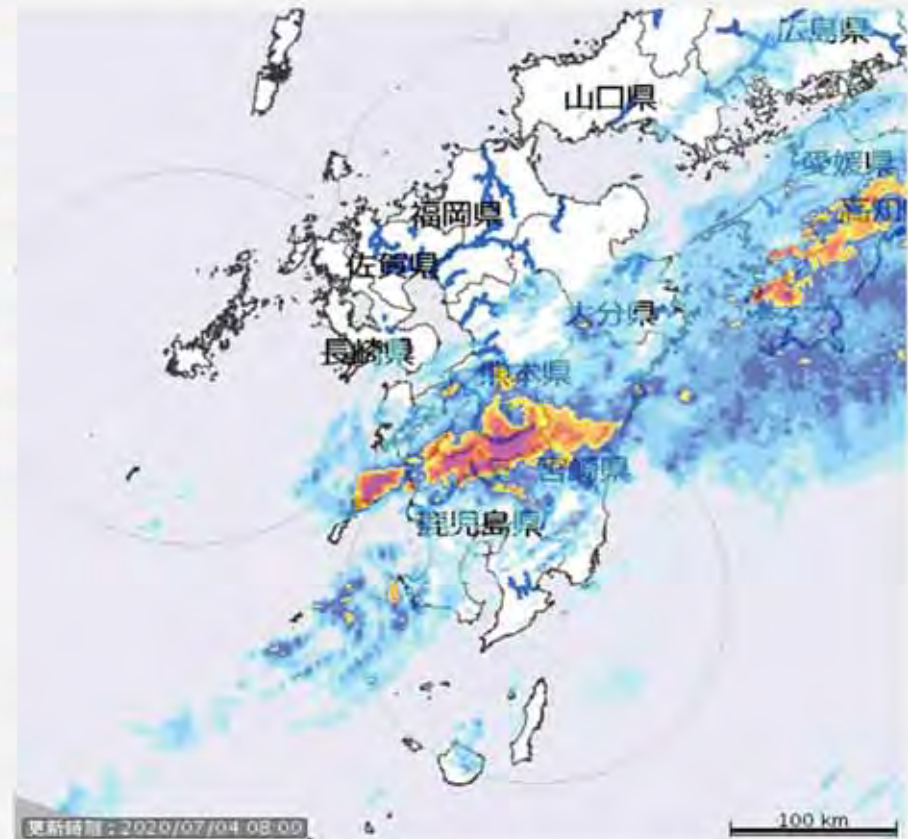
インド洋や東シナ海から供給された大量の水蒸気が前線に流れ込む(名大坪木・東大中村)

雨域は東西に細長く西九州から東九州にまで及んでいる

2020/07/04 0130



2020/07/04 0800

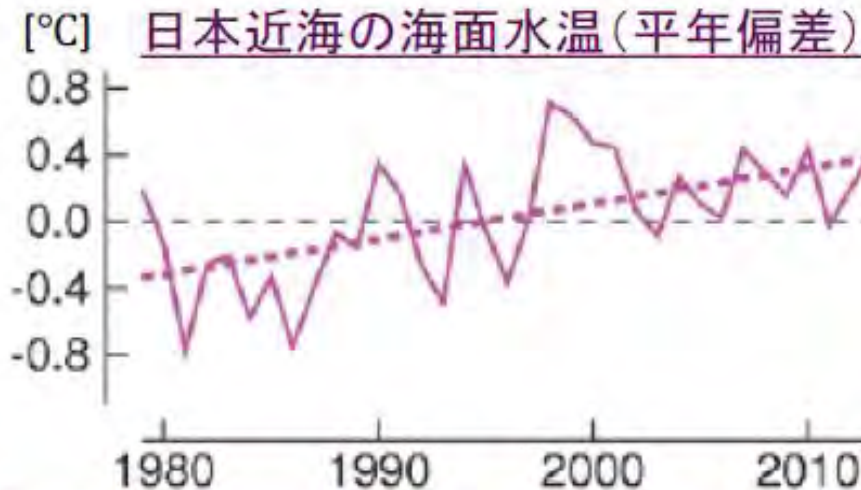
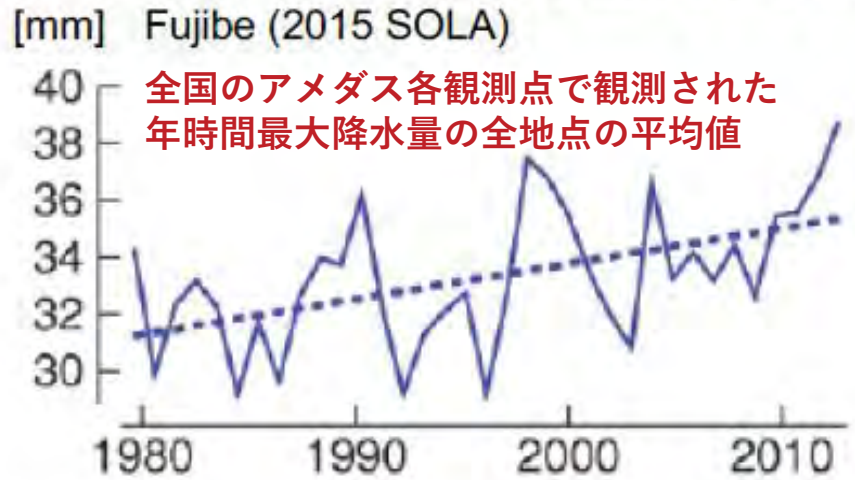


今回は流木は比較的少ない → 全域に万遍無く降雨 出典:国土交通省:XRAIN  
流入水蒸気量の増大により線状降水帯は広域化・大型化している。

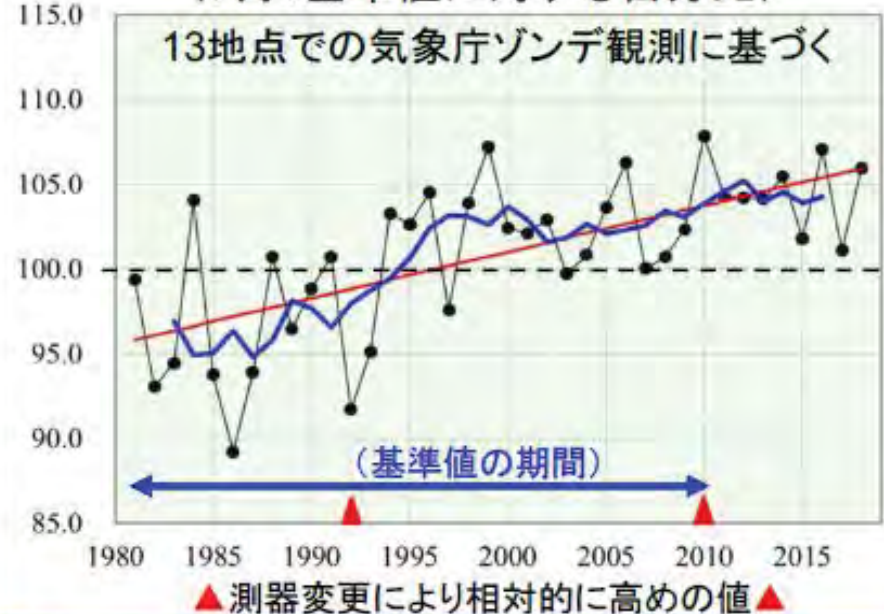


# 豪雨への地球温暖化の寄与の可能性

## 日本の年最大1時間降水量の長期増大傾向



## 日本上空1500mでの水蒸気量の変化 (7月:基準値に対する百分比)



1980年頃以降、日本の夏季下層気温は1°C余り上昇 → 対応して下層水蒸気量も約10%増加(理論値は約7%)

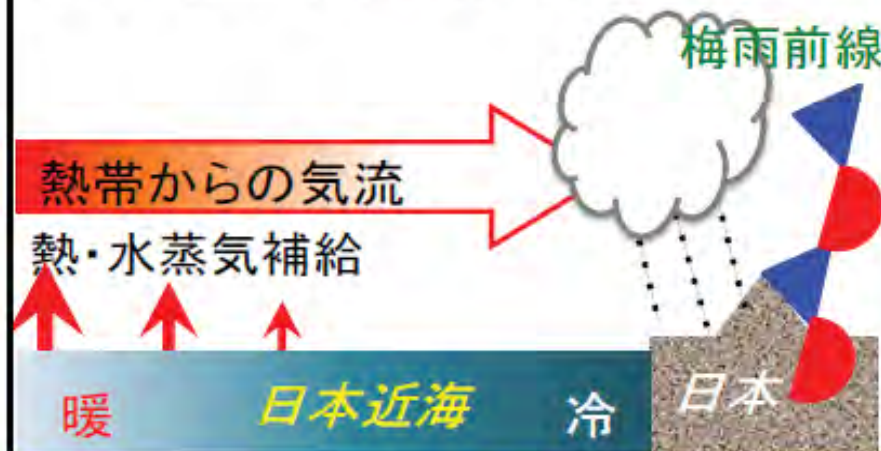
過去100年、日本近海は全海洋平均より2~3倍の速いペースで温暖化が進行 (Wu et al. 2012 NCC).



# 日本周辺海域の温暖化による豪雨・台風への影響

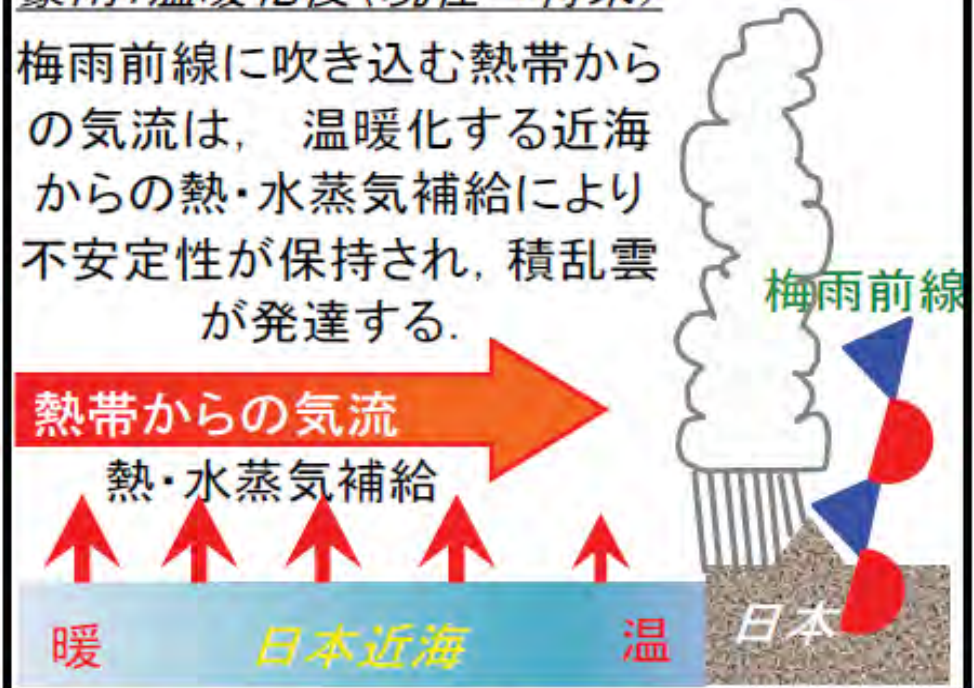
## 豪雨: 温暖化以前

北上した梅雨前線に向けて熱帯から吹き込む気流は、日本近海が冷たいため安定化し、積乱雲を発達させにくい。



## 豪雨: 温暖化後(現在→将来)

梅雨前線に吹き込む熱帯からの気流は、温暖化する近海からの熱・水蒸気補給により不安定性が保持され、積乱雲が発達する。



過去100年、日本近海は全海洋平均より2~3倍のペースで温暖化が進行。

## 【台風への影響】

1. 日本近海の温暖化に伴い、台風が余り衰えずに列島に接近・上陸  
[例: 2013年18号(9月); 2018年24号(9~10月); 2019年19号(10月)].
2. ここ40年、勢力の強い台風が日本に接近する傾向(気象研2020)
3. 海面上昇も加わり、高波・高潮・豪雨による浸水被害甚大化の懸念

**地域の脆弱な箇所が破綻  
では脆弱な箇所とは？**



# 球磨川流域（流域全体が盆地と狭窄部のone pairから構成される） （人吉盆地最下端地点の集水面積は流域全体の8割に及ぶ）

地理院地図  
(電子国土Web)

Q 例：劔岳 / 金沢市木ノ新保町 / 35度0分0秒 135度0分0秒 / 35.0

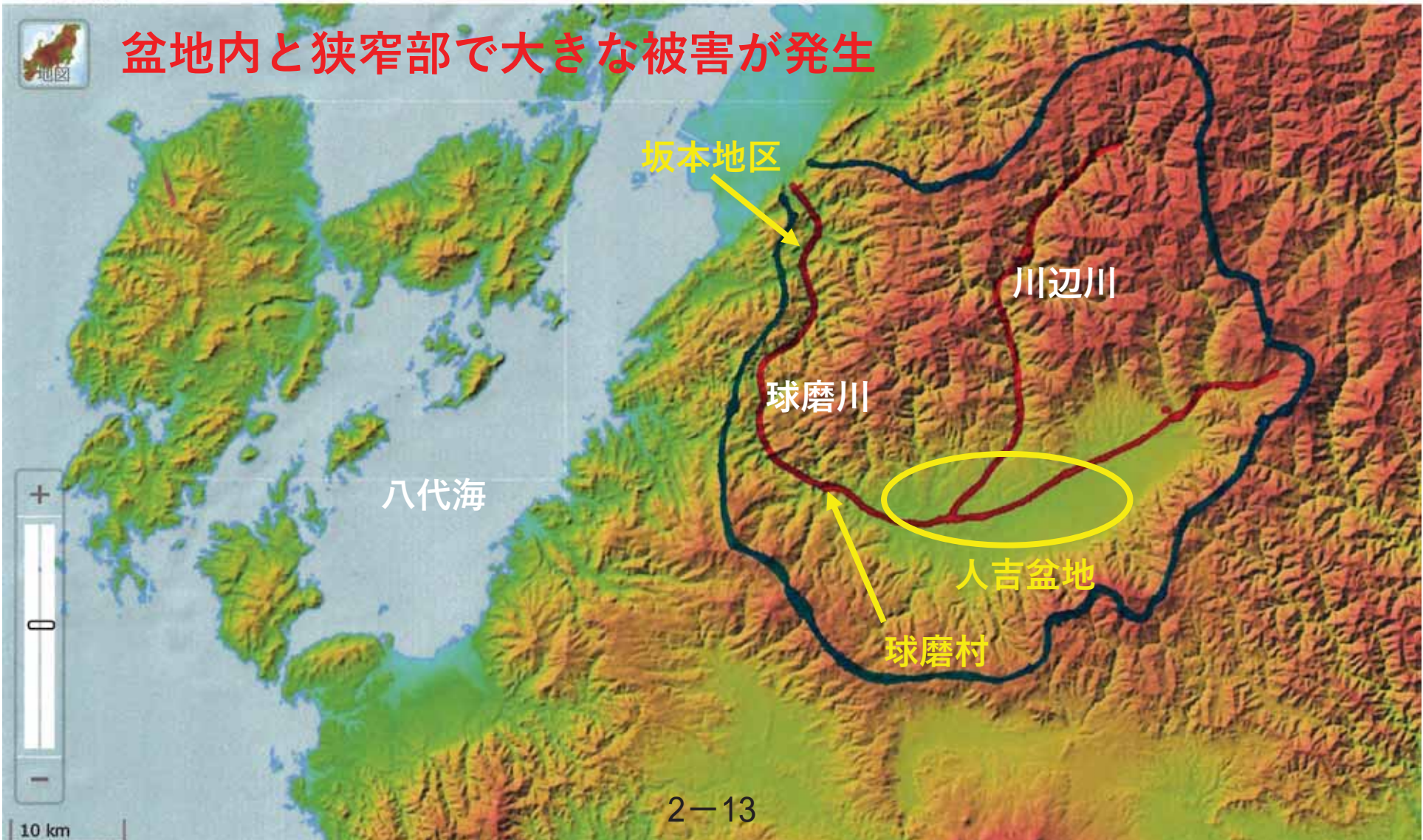
初期表示

印刷

共有

設定

ツール ? ヘルプ





# 人吉市街地

国土交通省へリ調査により確認された浸水範囲を概略で図示。  
※浸水範囲は今後の調査で変わる可能性があります。





# 球磨村 わたり 渡

国土交通省へリ調査により確認された浸水範囲を概略で図示。  
※浸水範囲は今後の調査で変わる可能性があります。





# 筑後川流域 (盆地地形とpairの流出狭窄部で被災) (令和2年7月豪雨災害)

地理院地図  
(電子国土Web)

例: 鋸岳 / 金沢市木ノ新保町 / 35度0分0秒 135度0分0秒 / 35.0

初期表示

印刷

共有

設定

ツール ? ヘルプ





## 今後の九州の大水害リスク

# 九州の地形

南北に脊梁山脈  
である九州山地  
があり、東西の  
分水嶺となる







# 九州の一級河川の流域の形状の例



筑後川流域



大分川流域



図-1 白川水系流域図



緑川流域

東西に伸びる流域と線状降水帯の雨域がスッポリと重なったら？

→ 今後九州は受難の時代を迎える？



# 球磨川流域での記録的な大雨の要因

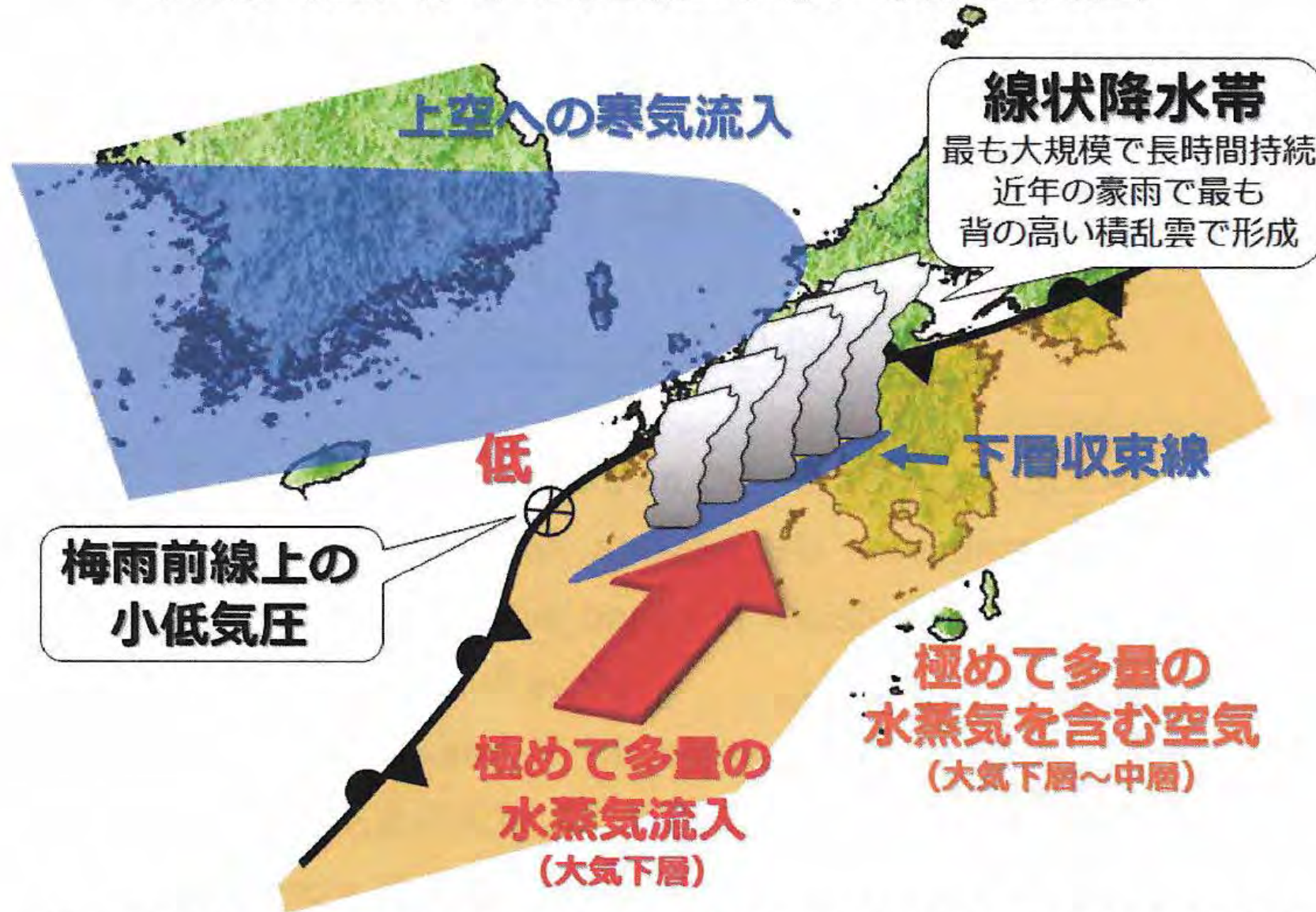
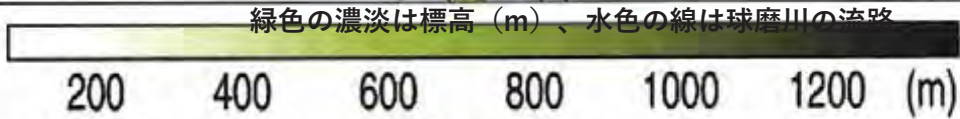
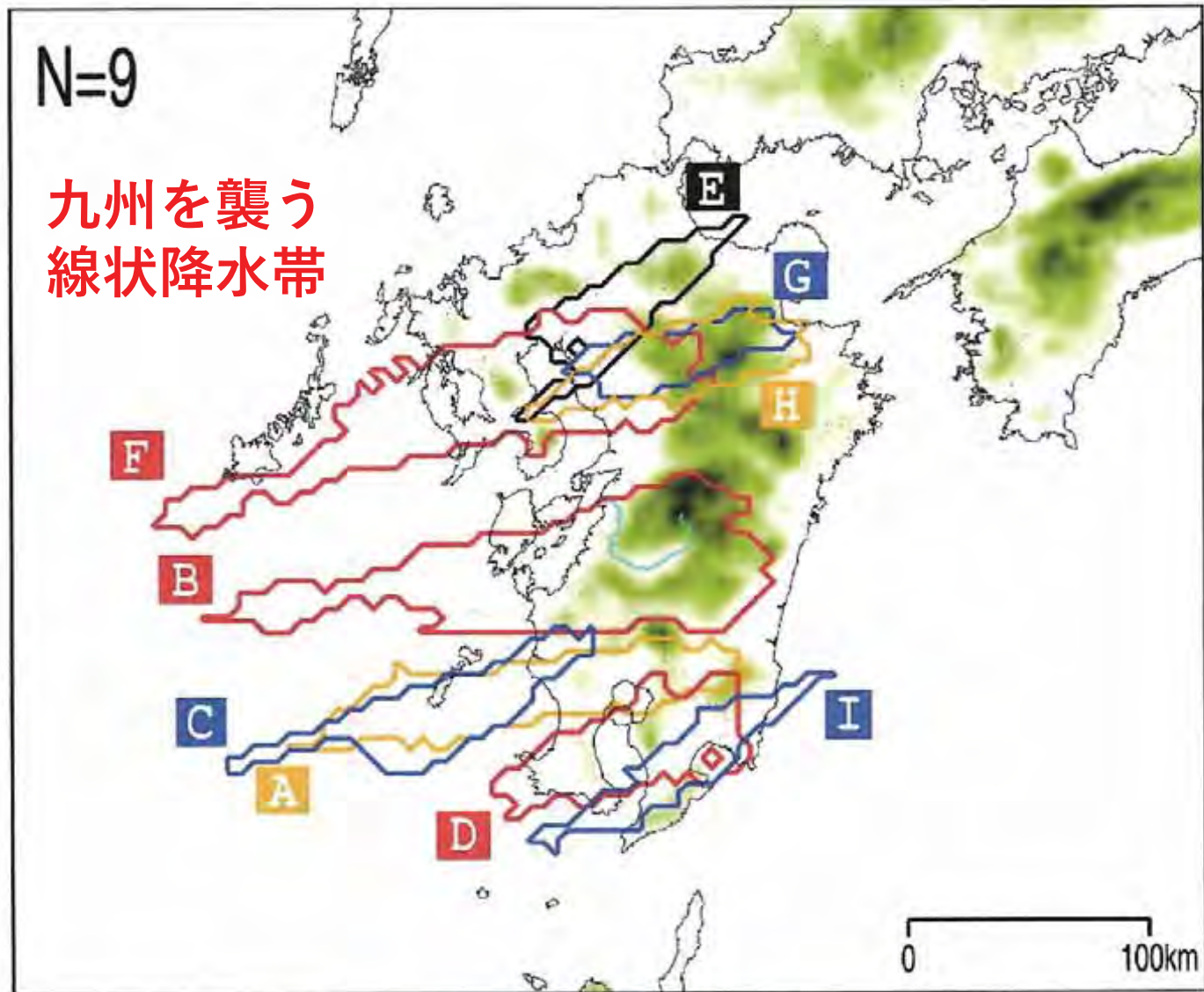


図 7月3～4日の球磨川流域における記録的な大雨の要因の概念図。

(出典：気象庁気象研究所)



2020年7月3日12時～8日12時に九州で発生した9個(A～I)の線状降水帯の出現分布



# 近年（平成27年～令和2年）の我が国の主な水害

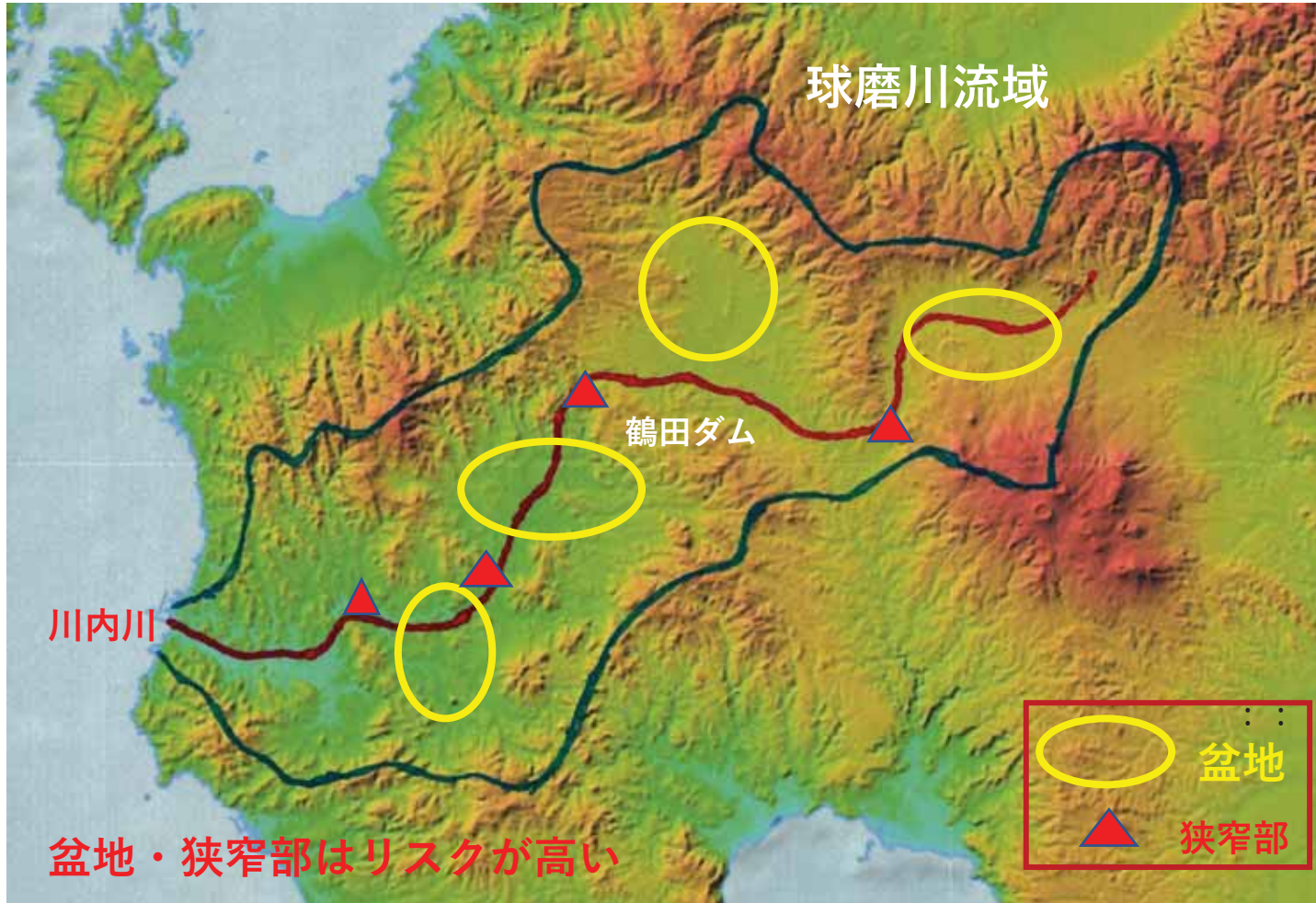
九州に集中！



大量の水蒸気に  
真っ先に遭遇

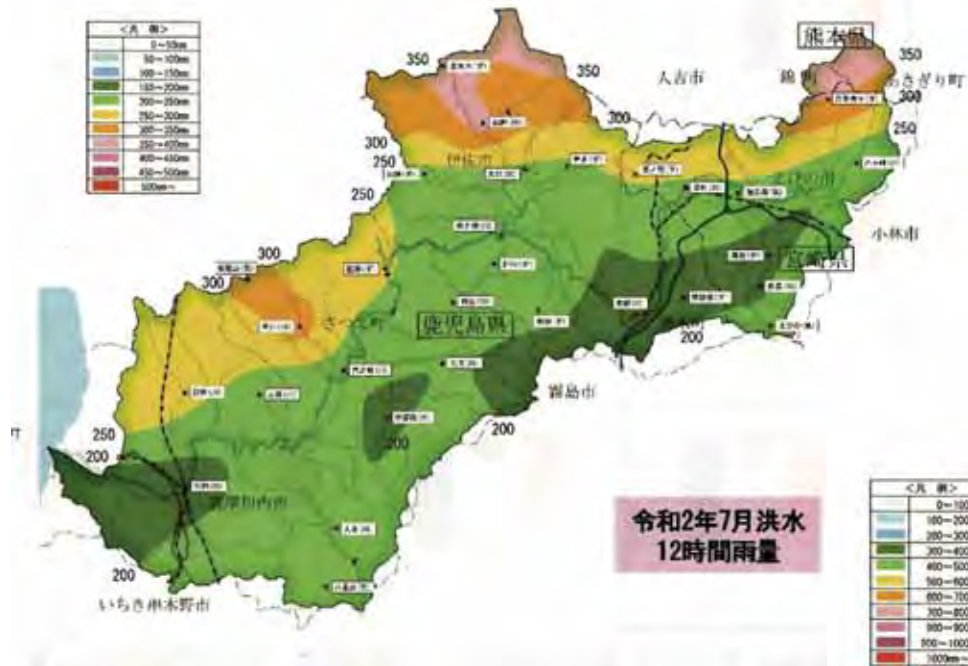


**球磨川流域に隣接する川内川流域**  
(盆地+狭窄部)の連続から成る。我が国の多くの河川で同様





# 令和2年7月豪雨での川内川流域の降雨状況



12時間降雨量

もし梅雨前線がもう少し南に位置していたら？

北側で球磨川流域に隣接



**地球温暖化**



**気温・（特に日本近海の）海水温の上昇**



**気流による供給水蒸気量の増大**



**今後**

**線状降水帯の広域化・強大化（H29九州北部豪雨  
→ R2・7月九州豪雨）  
&  
台風の強大化（R1台風19号、R2台風10号）**

**を覚悟しなければならぬ**



東西に細長い流域を持つ九州の一級河川の流域と  
やはり東西に長くなる大型化した線状降水帯が重なったら



昨年7月の球磨川水害・筑後川水害の再来



**大型河川災害の頻発化**

今年また昨年のような大水害が  
あっても全く不思議ではない

では一体どういう対策が考えられるか？

流水型ダム(穴あきダム)について



# 適応策の一つとしての流水型ダム(穴あきダム)

- a) 河床とほぼ同じ高さに設置された穴を通して水は常時流れるため、平常時に水は貯まらない。従って土砂や魚類も通過する。通常はダムが無いのと同じ状態なので**環境への負荷が少ない(連続性の確保)**。
- b) 安全のための治水専用ダムなので**地域住民の合意が得られ易い**。
- c) 通常は管理の必要がなく、**人為的なダム操作が入らない**。

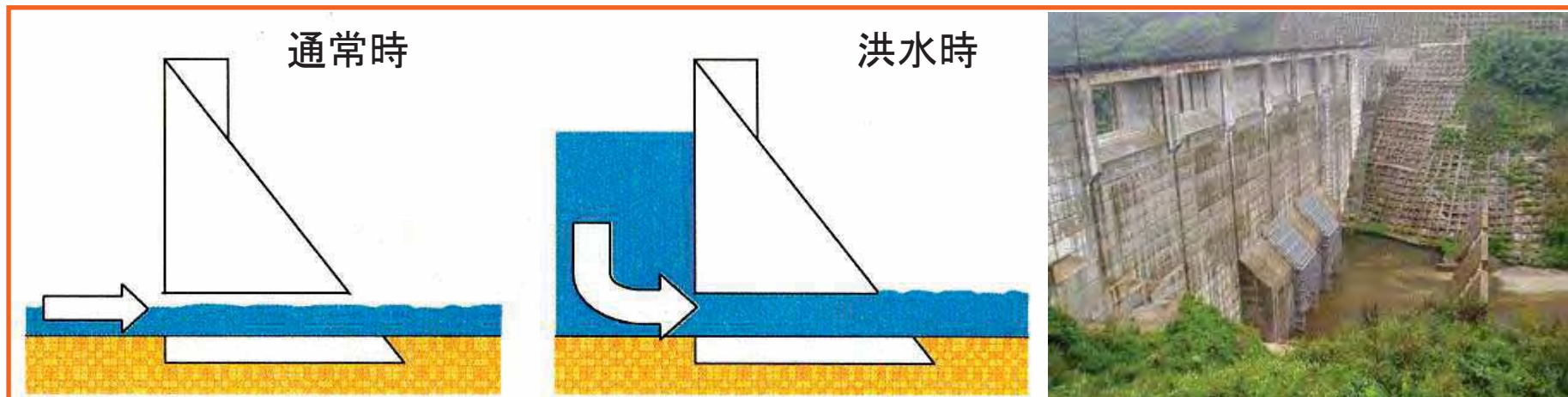


図 流水型ダムの概略図

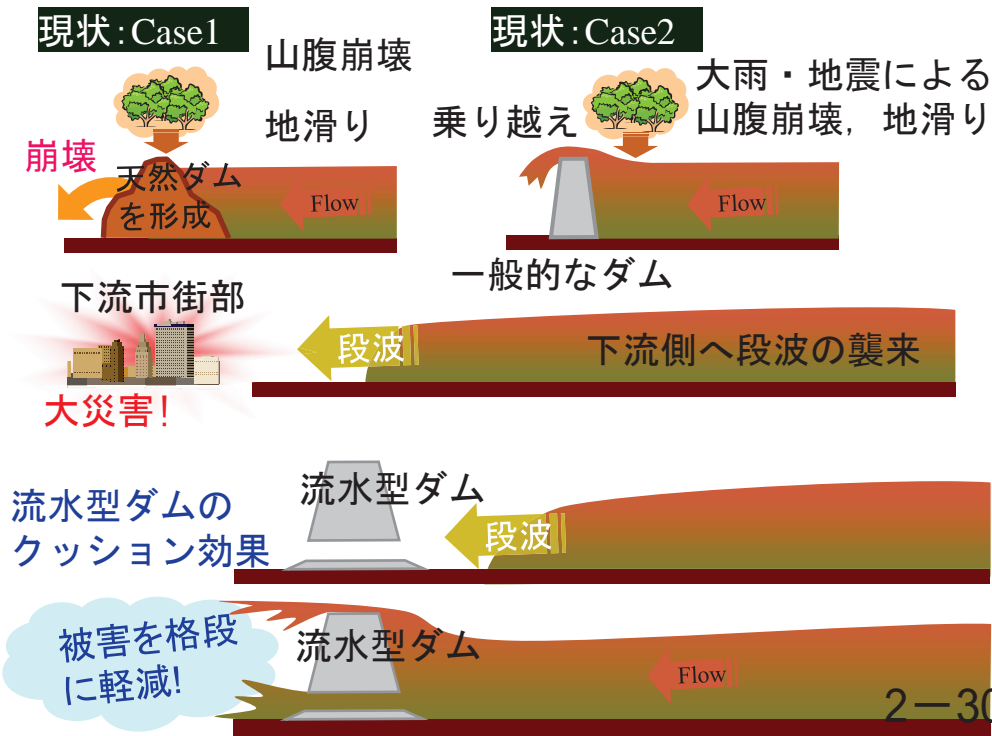
写真 益田川ダムの上流側

- ・洪水時にある程度まで流入流量が増加したときに貯水が始まる
- ・流入流量の減少とともに水位は低下し、通常の状態に戻る

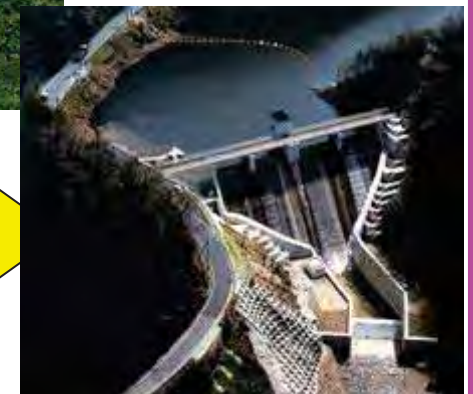
# 流水型ダム of 社会性・応用性

d) 天然土砂ダムや上流の既存ダムが万一崩壊した場合、また降雨や地震などで大量の土砂がダム湖内に崩落してダムサイトを越水した場合などに生じる段波を、下流に流水型ダムがあると一旦受け止めて、下流側の被害を大幅に低減できる。

e) 地球温暖化などで将来水資源問題が深刻化したとき、住民の合意のもとで、流水型ダムを低コスト・短期間で容易に貯水ダムに転換できる。従って、水資源の問題解決に大きく貢献できる（益田川ダムの建設に伴う笹倉ダムの例、下図）。また、堤体中腹に穴を設置して少しだけ貯水することで地下水涵養も可能。



再開発前



再開発後



# 河道内遊水池としての流水型ダム

最近の治水対策としては【流域治水】(溢れるのを認め遊水池や地盤の高い道路で防ぐ, 流域全体でソフト対策や土地利用規制などを実施)が挙げられる(→他に術無し)

しかしながら, ①遊水池としてのスペースの確保が困難  
②地球温暖化による災害外力の増大

積極的な対策が必要

通常の遊水池(横越流堰)≒流水型ダム(河道トンネル)

## 新たなコンセプト「河道内遊水池」としての流水型ダム

- ①河道空間を横方向・縦方向に広げて有効利用することになる。
- ②普段は水を溜めないのもので通常の遊水池と同じ。環境への負荷は少ない。
- ③社会情勢からも建設困難な大規模ダムに代わり, 上・中流部に小規模山間遊水池群を設置することで自然に寄り添った治水策の実行・推進が可能。
- ④ダムが満水になったときゲートを閉めることで更に顕著な洪水のピークカットが得られる。

「大型ダムに依らない治水」を実現!



## オーストリアの小規模流水型ダム

ダム貯水池側から見たダム堤体  
(自然の丘に似てる)

自然の中に溶け込み、自然と共生している



小規模ダム群の活用の可能性





# 小規模流水型ダム群のネットワーク化

その基礎としての直列に配置された流水型ダム群

## 直列配置された流水型ダム群の治水能力の強化

上流の山間部でのダム越流をある程度許容できる箇所に、複数のダムが直列配置された場合に、

‘ダムが満杯になって溢れることを許容する’

・・・新しい治水の概念

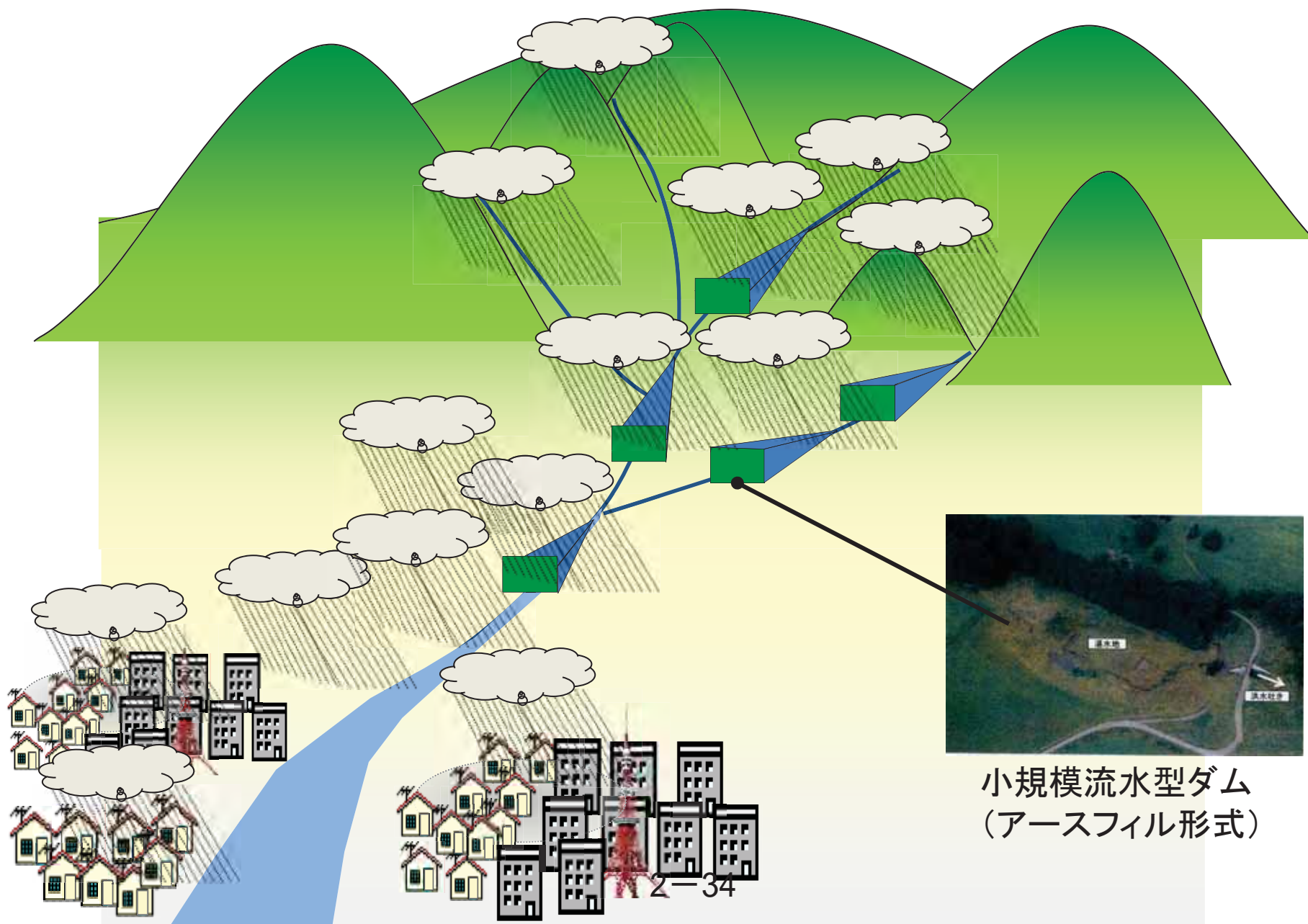
### 従来考え方

個々のダムで計画高水流量を定め、それぞれのダムが溢れないように洪水処理を行う。 → **従来型**

### 本研究で提案された新しい考え方

上流のダムが満杯になって溢れることを許容し、最下流のダムのみが溢れないように洪水処理を行う。 → **越流型(カスケード方式)**

# 小規模ダム群による順応的治水(流域貯留)



小規模流水型ダム  
(アースフィル形式)



では球磨川ではどういう対策が考えられるか？

球磨川の本川に対しては？



山地部では、小規模流水型ダム（河道内遊水池）群のネットワークの活用（カスケード方式）

&

盆地部では、遊水池や氾濫原の活用

# 球磨川流域（流域全体が盆地と狭窄部のone pairから構成される）

（人吉盆地最下端地点の集水面積は流域全体の8割に及ぶ）





# 支川・川辺川からの流入の影響

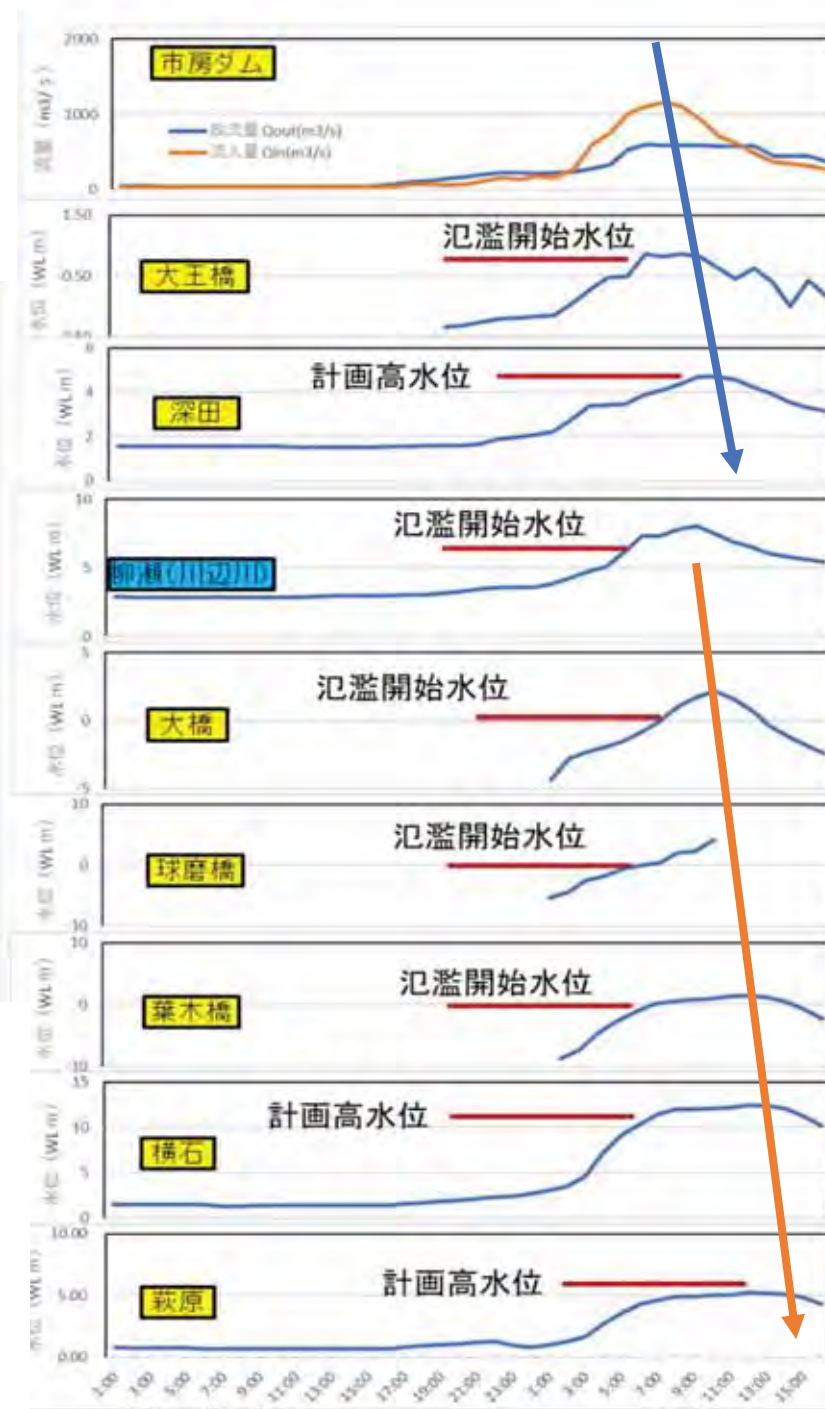
(角・野原のデータに筆者が加筆)



右図で —— は人吉より上流における水位ピークの移動線

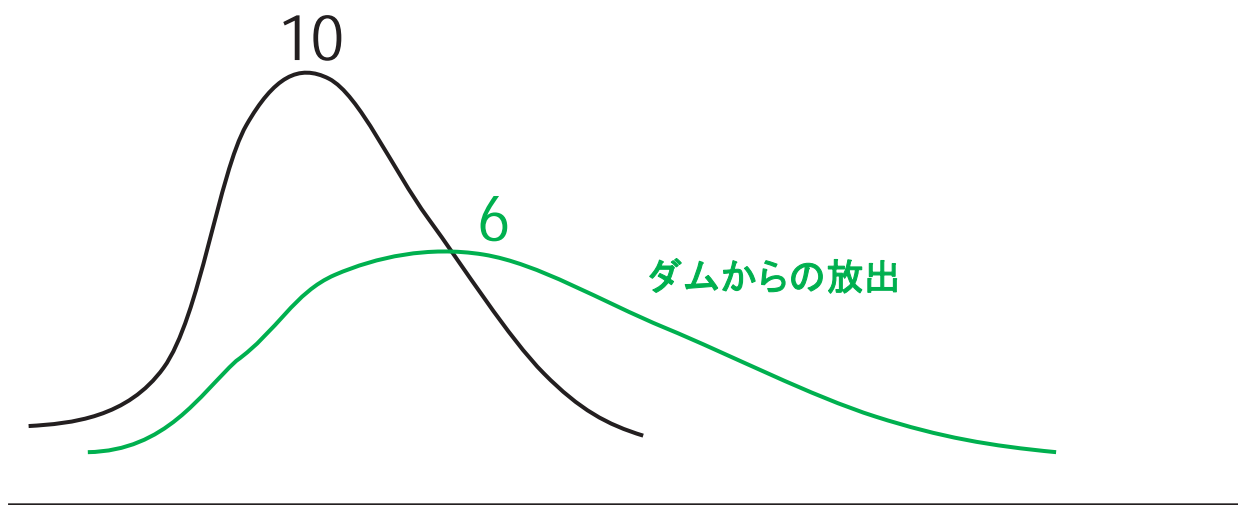
—— は人吉より下流部の水位のピークの移動線

本来連続すべき移動線が人吉で不連続となり、下流部は川辺川からの流入の影響を大きく受けて時間が早くなっていることが分かる。



## 流水型ダムによるハイドログラフの変換

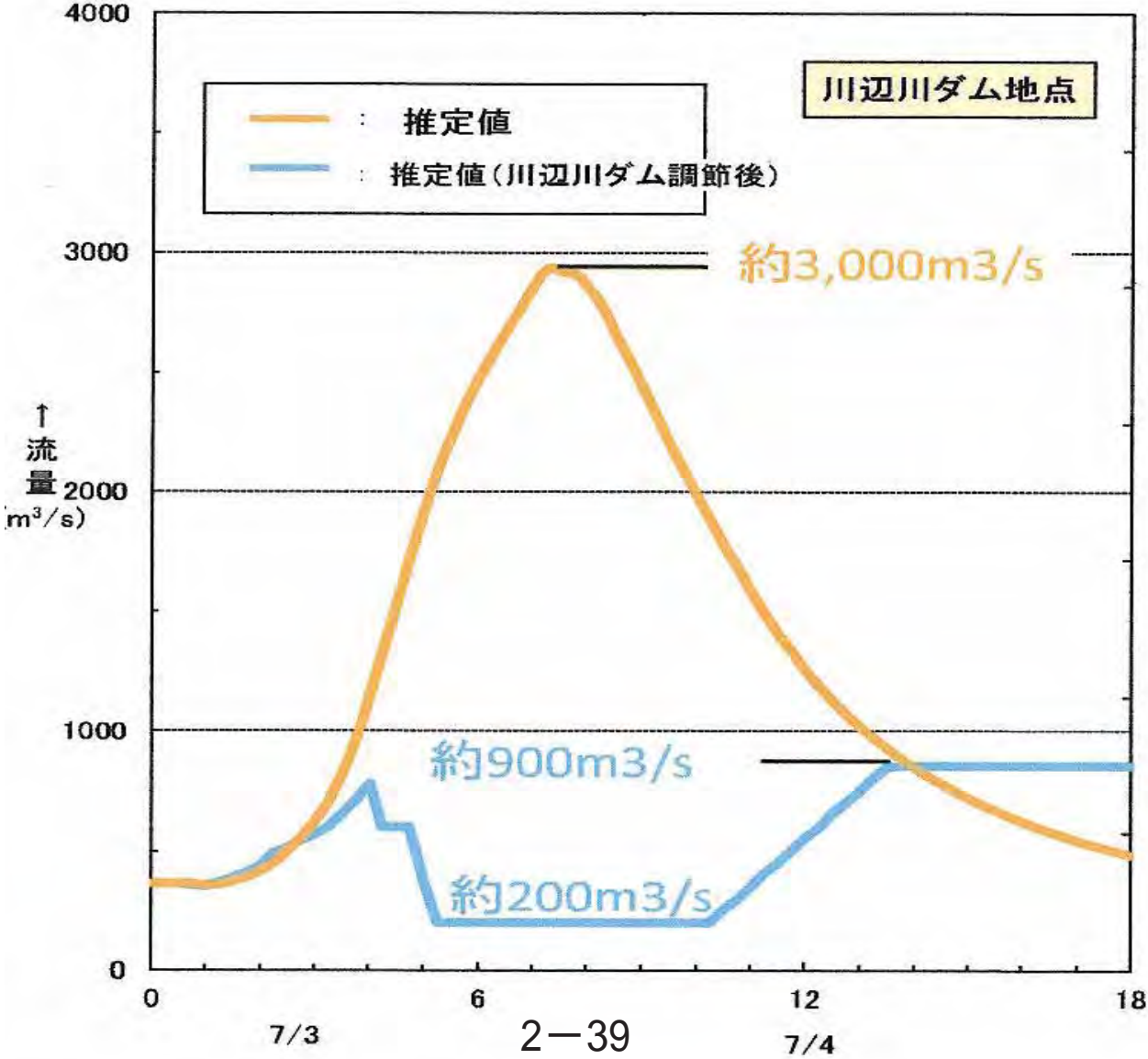
初期流入ハイドログラフ





# 川辺川ダム

令和2年7月水害に対する想定操作



# 支川の川辺川に対しては？



通常の流水型ダム（穴あきダム）は環境には優しいが、洪水調節の面で貯水型と比較して効率が落ちる

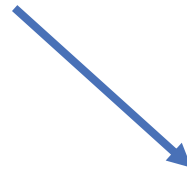


**（ゲート付きの穴を有する）Hybrid 型の大型流水型ダム（双方の利点を生かす）を提案**



通常時 or 中小洪水時には

『流水型ダム』として機能する



大洪水時には穴のゲートを閉じて

『貯水型ダム』として機能させる

むしろ『大型貯水型ダムの堤体の河道付近にゲート付きの穴』を設置するイメージ



# 流水型ダムの常用洪水吐き

(先例)



フロートによる開度の自動調整機能を有する  
常用洪水吐き (オーストリア)



常用洪水吐きとその中に設置された魚道  
(西之谷ダム)

**色々な機能が要求される流水型ダムの常用洪水吐きは環境用に特化させて、洪水時にはゲートを閉めて使わないようにする**

## 常用洪水吐きの前のスクリーン



特徴のある常用洪水吐きのスクリーン  
(オーストリア)

スクリーンの工夫により流木等  
による常用洪水吐きの閉塞は十分  
防止可能

特徴のある常用洪水吐きのスクリーン  
(アメリカ)





## 立野ダム完成予想図

○立野ダムでは平常時は水を貯めないため、ダムの維持管理用通路を利用し柱状節理や噴出年代の異なる溶岩を間近で鑑賞・観察することができる。



# 最新の流木捕捉施設



# 新たな脅威としての流木の問題

北川・本陣橋付近に集積して河道を閉塞した流木（土砂流氾濫の原因となる）





本来流せる洪水でも流木が集積して河道を閉塞し氾濫を誘発



大肥川支川宝珠山阿弥陀堂橋



# 流木捕捉施設

## 筑後川水系花月川支川小野川の流木捕捉施設の模型実験

模型縮尺 1/30

流木捕捉率 70%以上

2基の直列設置で 91%以上捕捉



流木(杉・桧等の針葉樹)の比重 < 1.0

最終形状での捕捉状況(H29.7被災流量, 集中投入)

設置費用はそんなにかからない

(株)東京建設コンサルタント実施

# 小本川の流木捕捉施設の模型実験

模型縮尺 1/50 (株) 水工リサーチ  
 流路勾配 1/100

流木捕捉率 60~70% 流木(広葉樹)比重=1.1

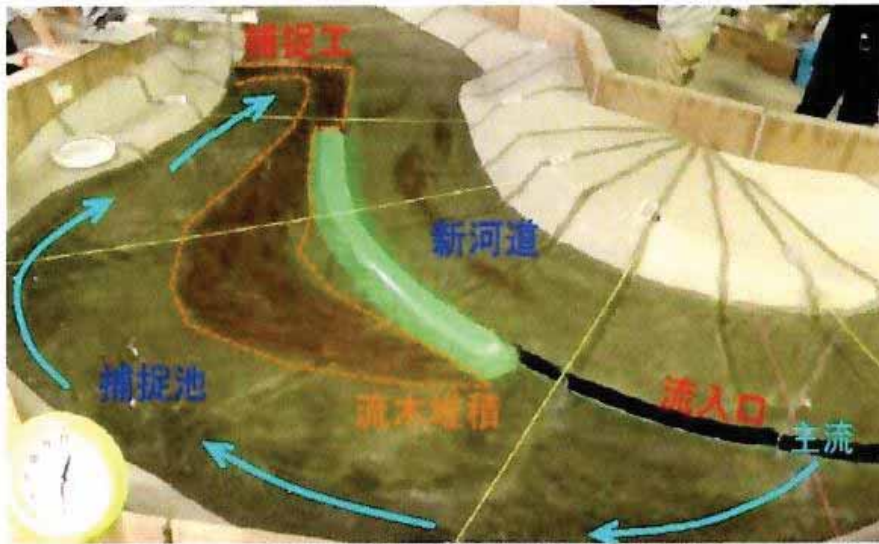


図-12 実験開始から30分後の流木捕捉状況  
 (流量  $Q=680\text{m}^3/\text{s}$ , 流木長  $L=6\text{m}$ )



図-13 実験終了時の流木捕捉工周辺の流木堆積状況



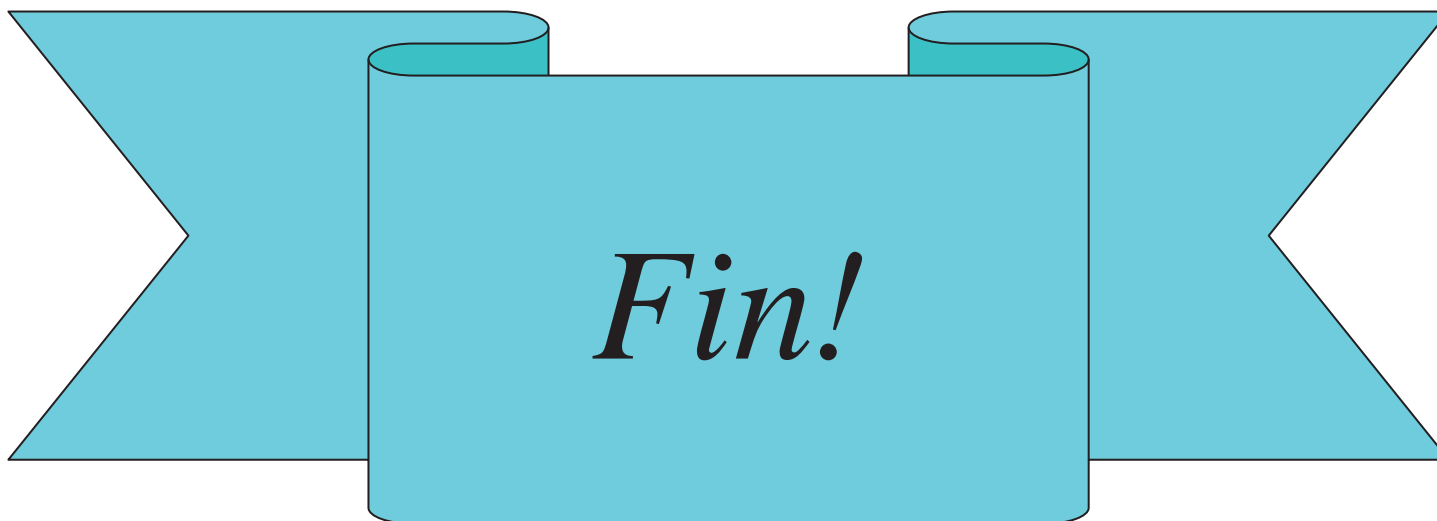
図-15 流木捕捉施設の最終形状 (案)

流木捕捉施設の最終形状 (案) の流木捕捉機能



# まとめ

1. これからの治水は国の存亡をかけた戦いとなる。
2. 気候変動による災害外力の増大と共に災害の様相も変わってきた。
3. 日本近海の海水温の上昇により気流による輸送される水蒸気量が膨大化し線状降水帯も大型化してきている。東西に細長い形状を持つ九州の一級河川の流域と大型化したやはり東西に細長い線状降水帯が重なると大水害(Ex. 昨年の球磨川水害)が引き起こされる。気候変動は待ってはくれない。喫緊の対策が必要である。
4. 川辺川に対しては環境保全と治水を両立させ得る『ハイブリッド型の流水型ダム』を提案する。
5. 流木対策も重要である。流木捕捉専用施設を山地部に作ると経費は比較的安く抑えられ、効果は大きい。。



ご清聴、ありがとうございました