

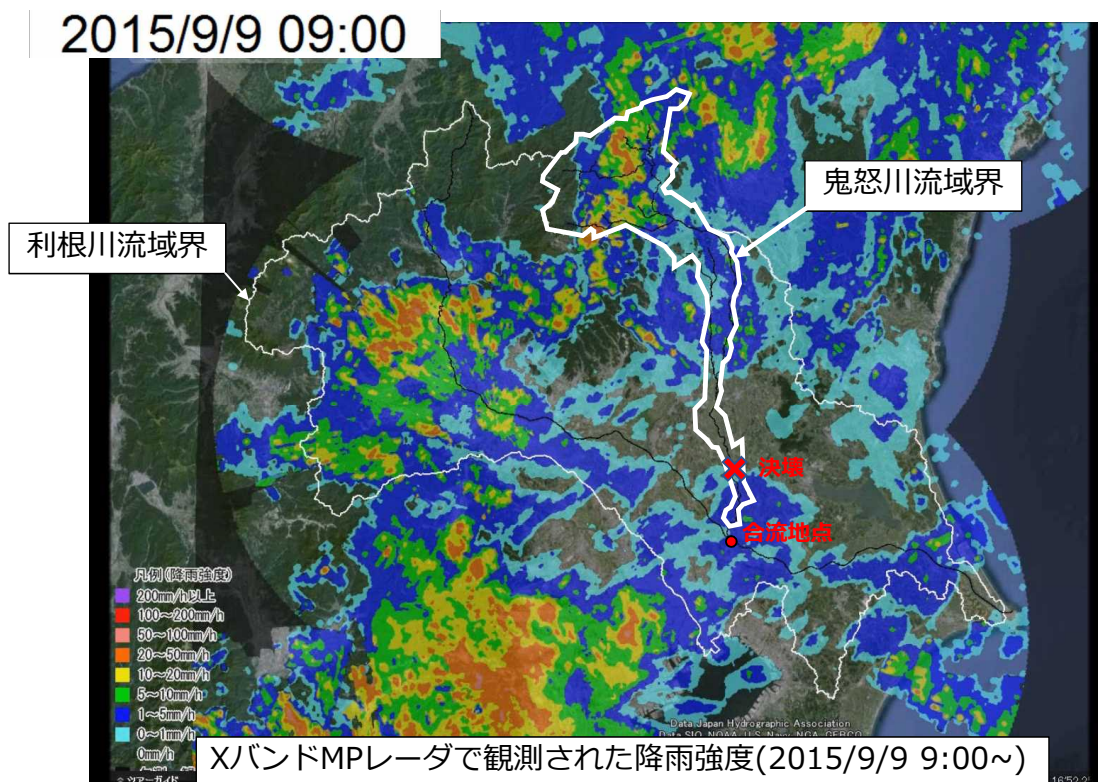
国土交通技術行政の基本政策懇談会

洪水時の避難情報及び浸水状況が
住民の避難行動へ及ぼす影響

中央大学教授 山田正

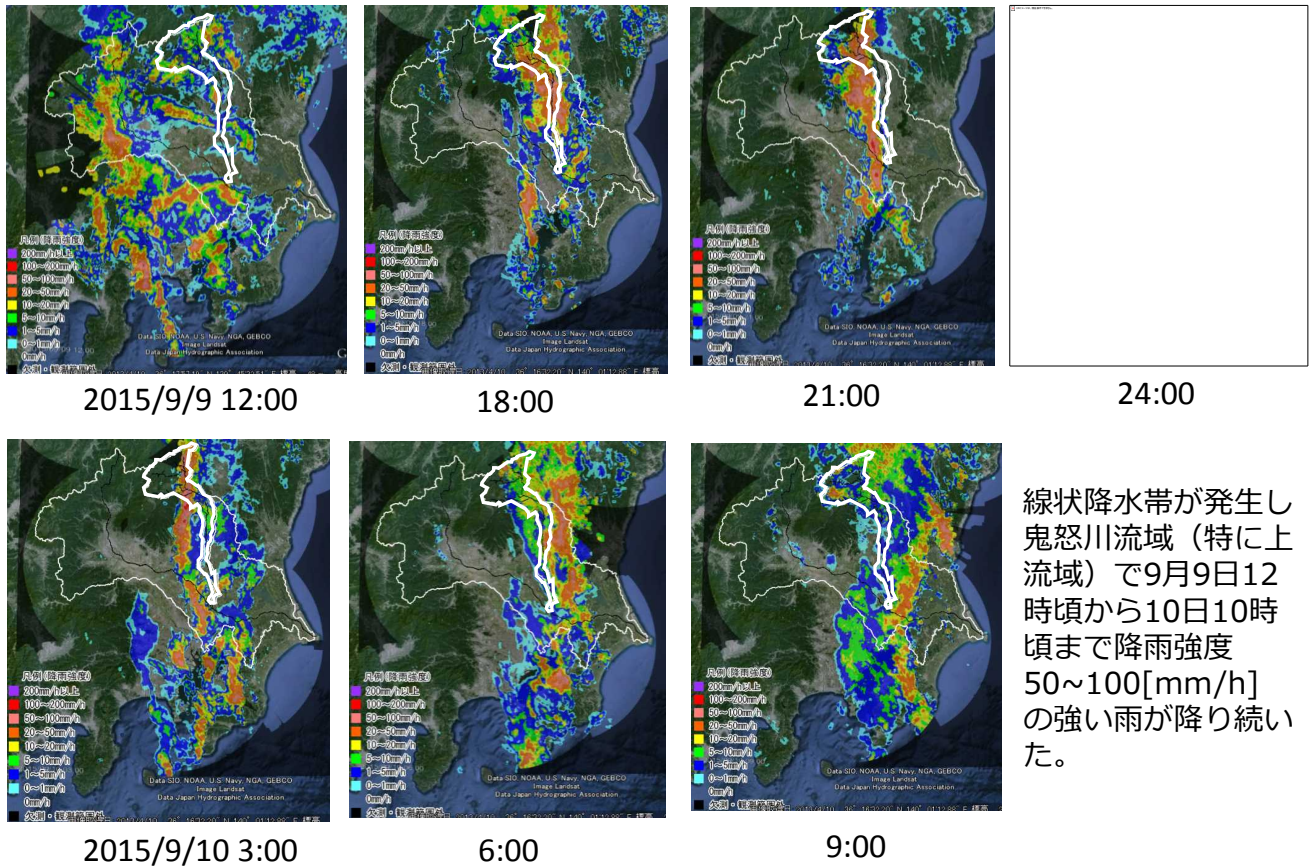
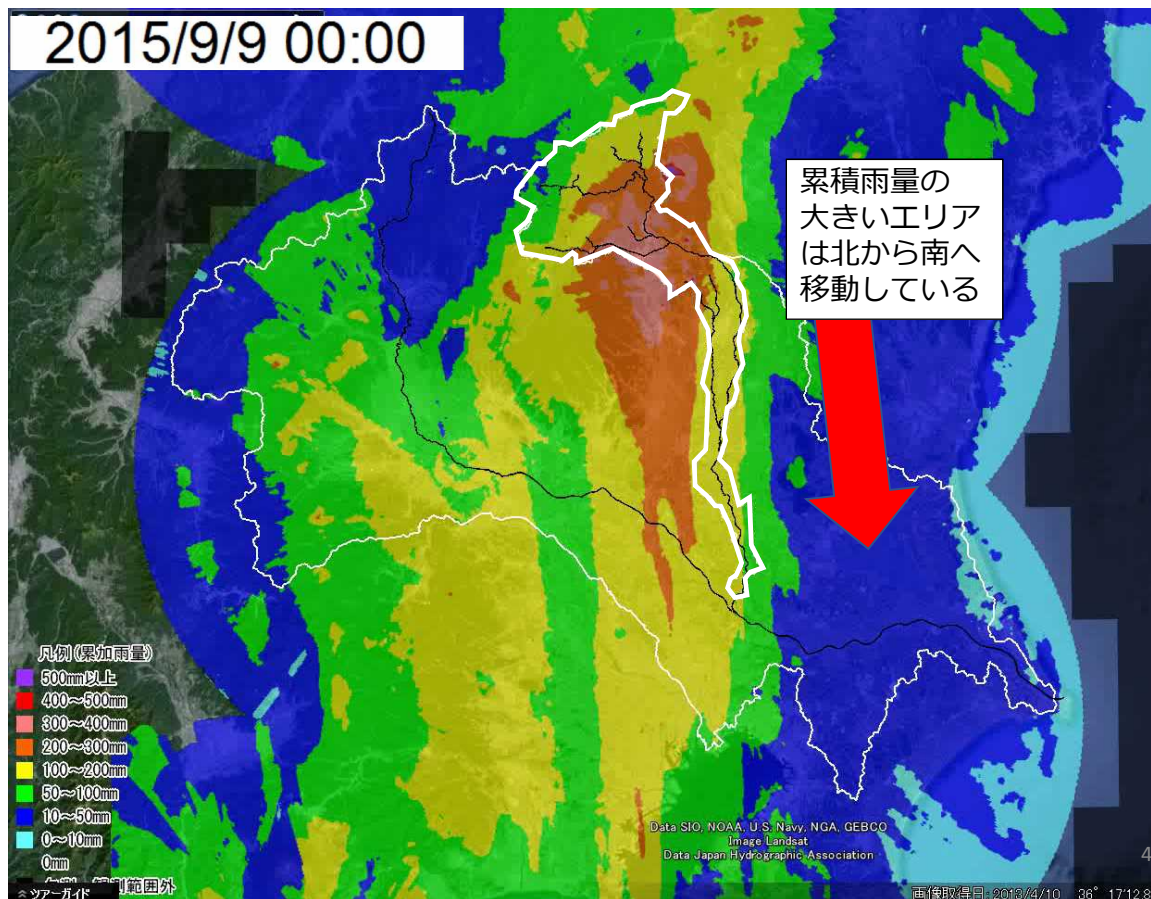
2018年8月1日

平成27年(2015年)9月関東・東北豪雨の降雨状況について

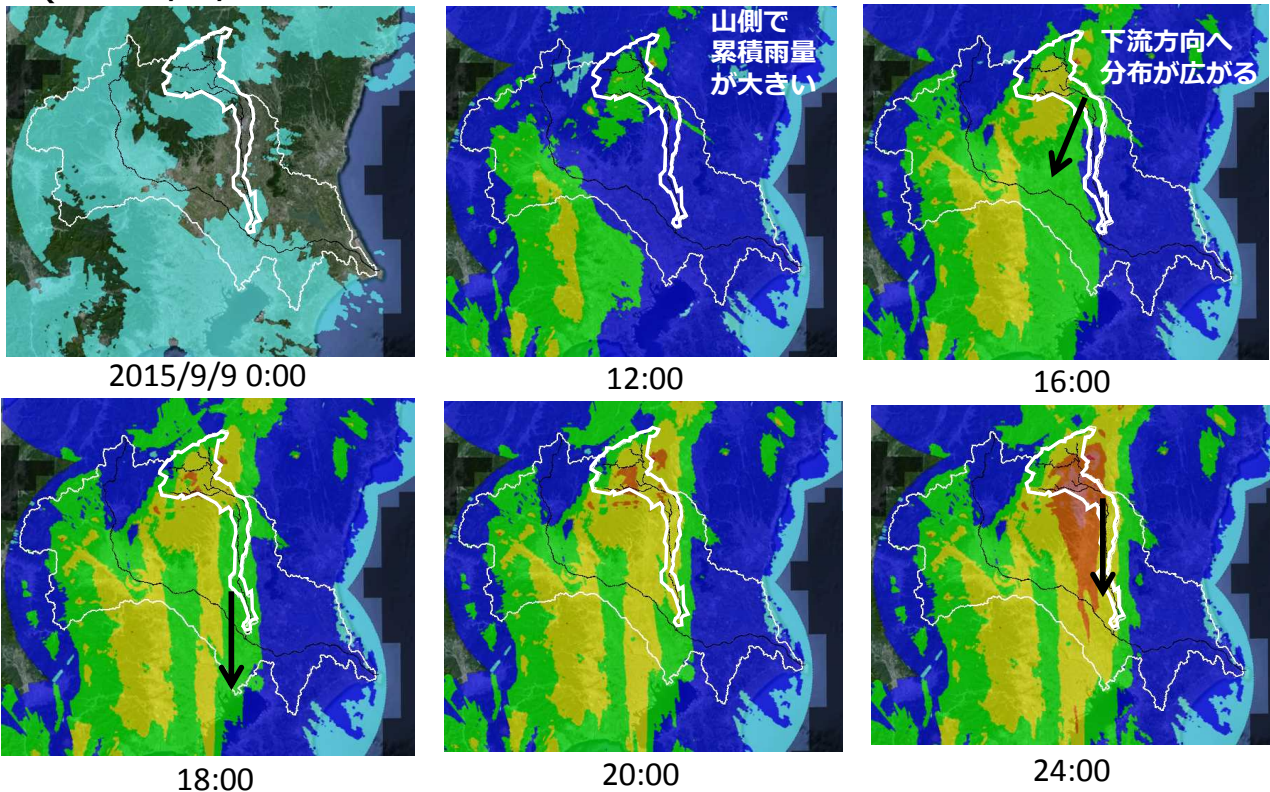


- ・ 利根川と鬼怒川の合流部：河口より 82.5K 地点
 - ・ 決壊地点：利根川合流部から 21K 地点
- 鬼怒川流域面積： 1,761[km²]
利根川流域面積： 16,840[km²]

平成27年(2015年)9月関東・東北豪雨の降雨状況について

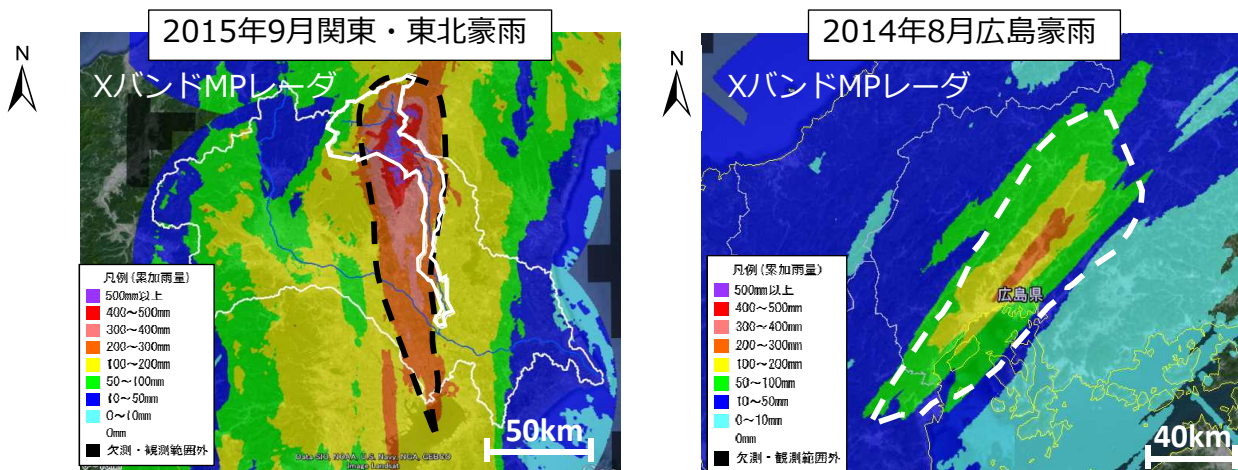
XバンドMPレーダにより観測された累積雨量の時空間分布
(2015/9/9 0:00~24:00)

XバンドMPレーダにより観測された累積雨量の時空間分布 (2015/9/9 0:00~24:00)

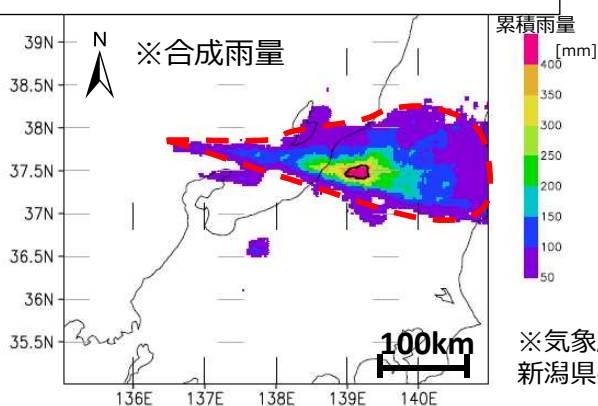


強い雨域（雨のパターン）は南から北へ移動したが、累積雨量の大きいエリアは北から南へ移動した。河川の流下方向と一致しているため流量が大きくなった可能性

線状降水帯の累積雨量について



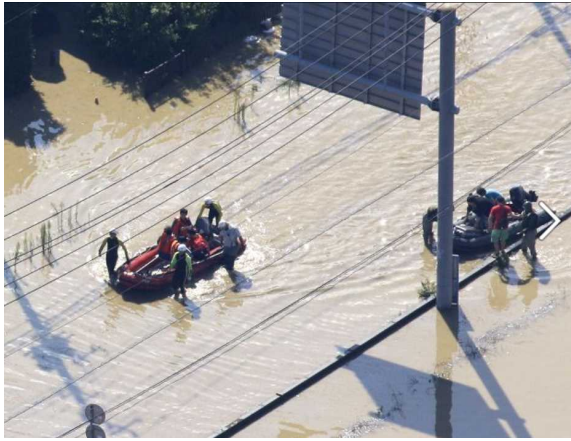
2004年（平成14年）7月新潟・福島豪雨



線状降水帯の累積雨量の空間分布は涙型となる

※気象庁合成レーダを基にアメダス・国土交通省・新潟県の地上雨量データを用いて補正した雨量

平成27年(2015年)9月関東・東北豪雨による鬼怒川洪水の概要



救助の様子(毎日新聞Web版より引用)

平成27年(2015年)9月関東・東北豪雨による鬼怒川の
 溢水及び堤防の決壊によって、茨城県常総市の広範囲で
 浸水被害が生じ、逃げ遅れた住民約4,300人が救助され
 た（内ヘリコプター1339人，地上部隊2919人）。

<茨城県常総市>

人口：64,854人(23,349世帯)（平成27年10月1日現在）

浸水区域内人口：43,195人（常総市HPより集計）

浸水区域内世帯数：15,565軒（常総市HPより集計）

常総市の住民の避難者数：6,223人（中央防災会議資料）

最大浸水面積：約40km²（国土地理院公表値）

「平成27年9月関東・東北豪雨」に係る鬼怒川の
 洪水被害及び復旧状況等について(平成28年1月29日)
 国土交通省関東地方整備局 より

7

鬼怒川の変遷



鬼怒川・小貝川の分離

江戸時代初期まで、小貝川は鬼
 怒川と合流し常陸川（利根川）
 へ注いでいた。

1630年（寛永7年）に大木大地
 を掘削して利根川につなぎ、鬼
 怒川と小貝川が分離された。

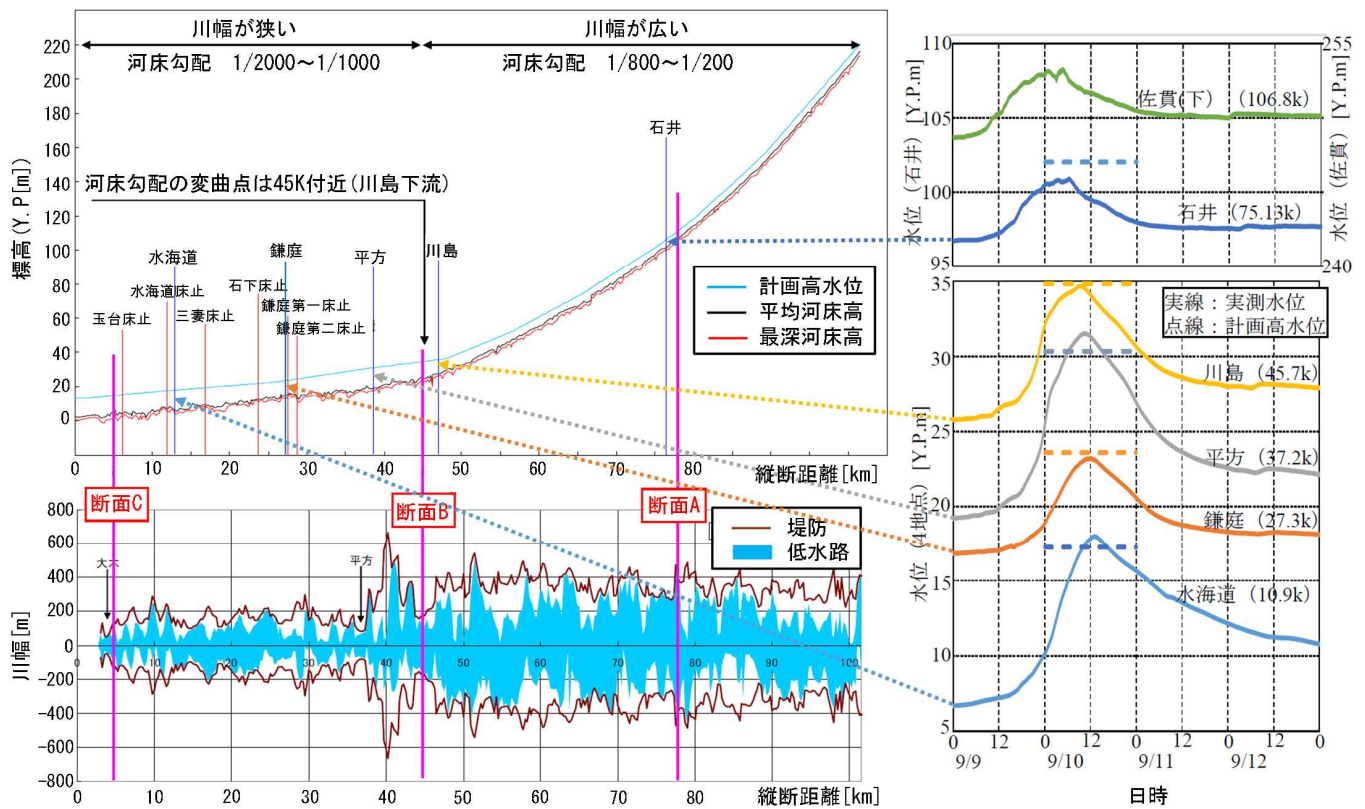
鬼怒川の河道変遷

年	内 容
神護景雲2年 (768年)	鬼怒川流路開削。大渡戸から桐ヶ瀬（現下妻市）に至る流路が開削される。〔毛野川（鬼怒川）を掘って新しい水路をつくって洪水を防いで田畑や用水路を守るという目的があったという記録がこの『続日本紀』〕
承平年間 (931～938年)	糸織川を通じて小貝川を合わせていた鬼怒川は、別れて南流し、糸織川部分は旧河道となった。下流の谷和原村寺畑地先（現つくばみらい市）で再び鬼怒川と合流していた。
寛永6年 (1629年)	大木の開削。大木台地（守谷市）を掘削して常陸川（現利根川）につなげた。
寛永7年 (1630年)	鬼怒川と小貝川を分離。鬼怒川を谷和原村寺畑地先で締め切り、小貝川と分離した。（谷和原の開発と鬼怒川舟運の整備が目的とされる。）

「明治以前日本土木史」他による

国土交通省関東地方整備局
 「第1回鬼怒川・小貝川有識者会議」資料より引用

鬼怒川の河床勾配・川幅とH27洪水時の水位ハイドログラフ

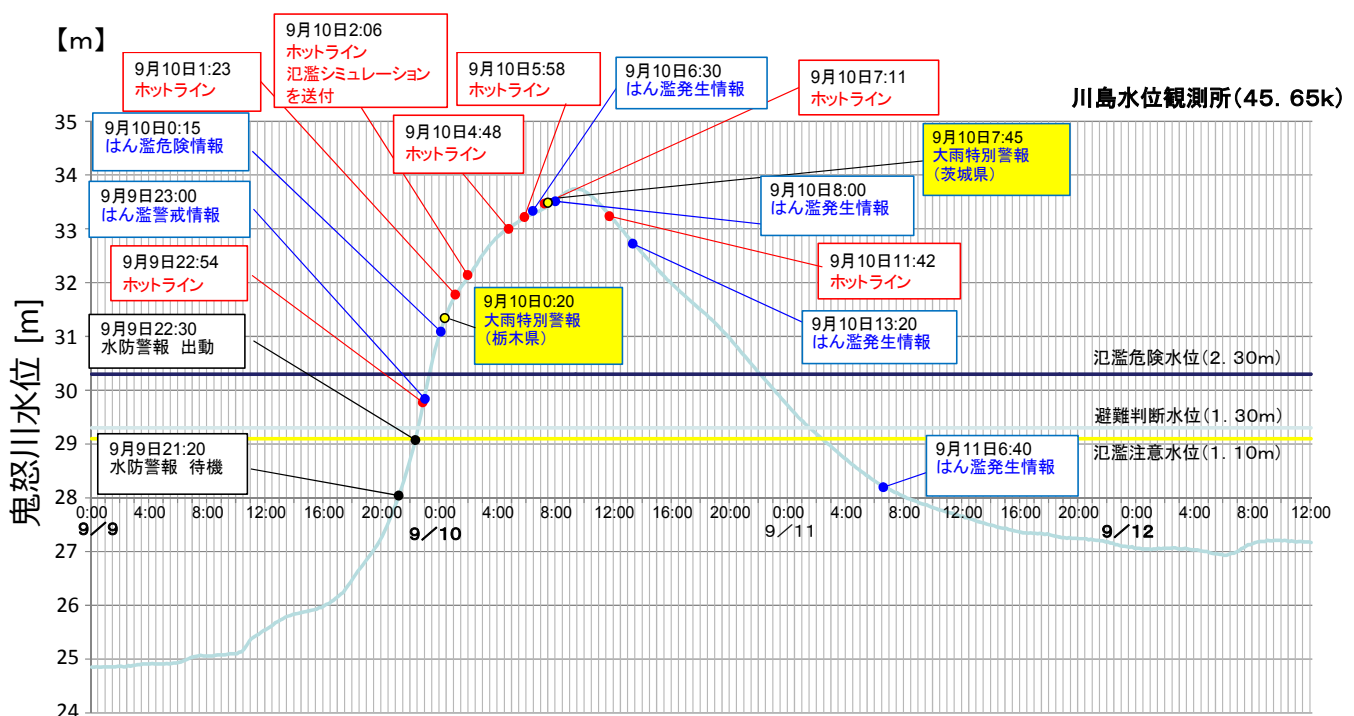


土木学会・地盤工学会合同調査団：「平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書」より引用・加筆

9

国土交通省から常総市への情報提供

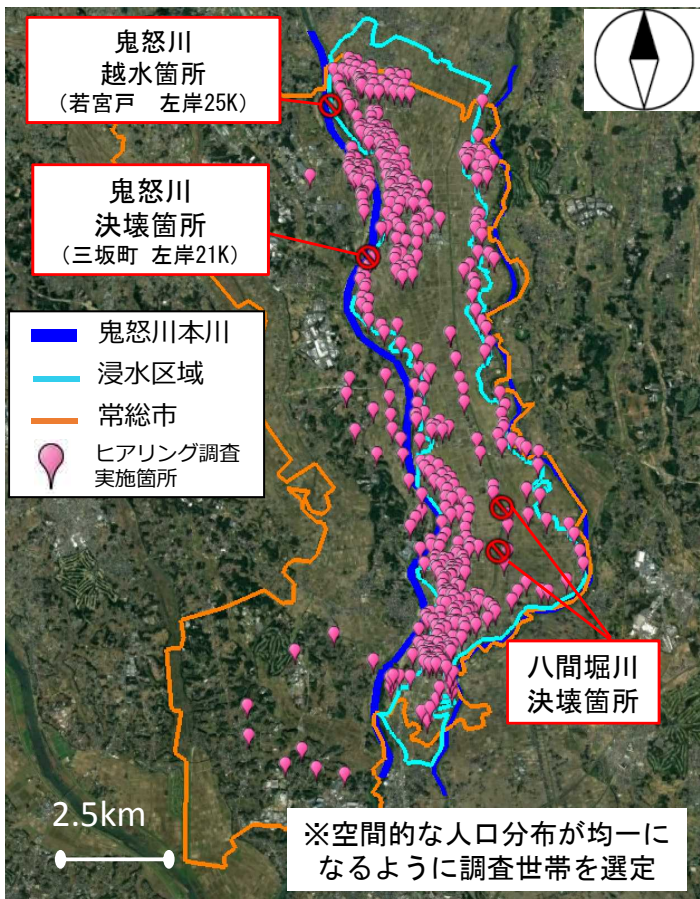
情報提供の状況



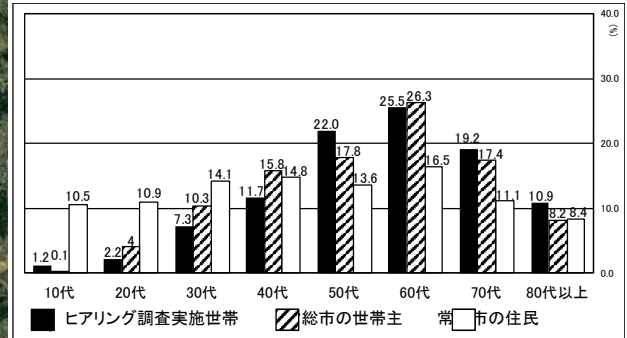
* ホットライン：国土交通省から常総市長へ、電話連絡による水位等の河川情報の提供

出典：国土交通省関東地方整備局：『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について(平成28年1月29日)

常総市の住民へのヒアリング調査の概要



調査期間：3日間（2015年11月21日-23日）
 調査員：20名（学生）
 調査対象：常総市内の浸水区域または
 避難勧告・指示が発令された地区の住民
 取得数：516件
 調査方法：対面式でのヒアリング調査



<茨城県常総市>

人口：64,854人(23,349世帯)（平成27年10月1日現在）

浸水区域内人口:43,195人（常総市HPより集計）

浸水区域内世帯数:15,565軒（常総市HPより集計）

常総市の住民の避難者数:6,223人（中央防災会議資料）

最大浸水面積:約40km²（国土地理院公表値） 11

住民ヒアリング調査の概要

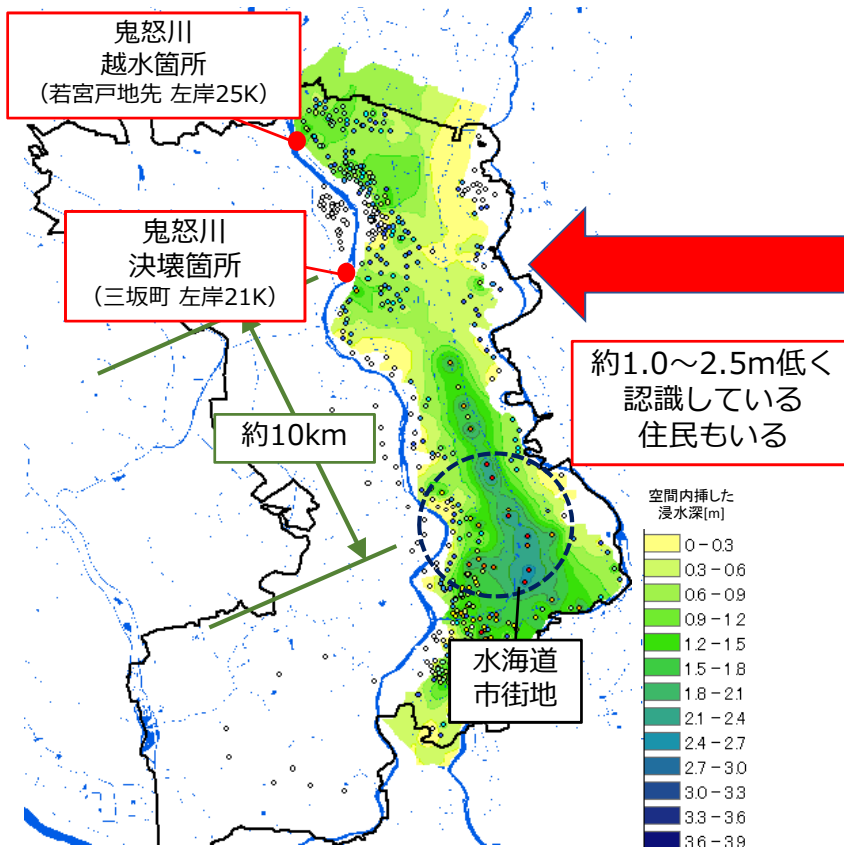
ヒアリング項目：約30問

- 被災状況、避難状況について
 - ・自宅の浸水状況
 - ・避難の状況 等
- 災害情報の入手状況について
 - ・災害時に聞いていた情報の種類と情報の取得手段
 - ・避難勧告・指示を聞いた時刻 等
- 情報と危険性の認識について
 - ・日頃のハザードマップの確認状況
 - ・緊急時の家族の避難場所
- 回答者属性
 - ・年代、居住年数、水害被災経験の有無 等



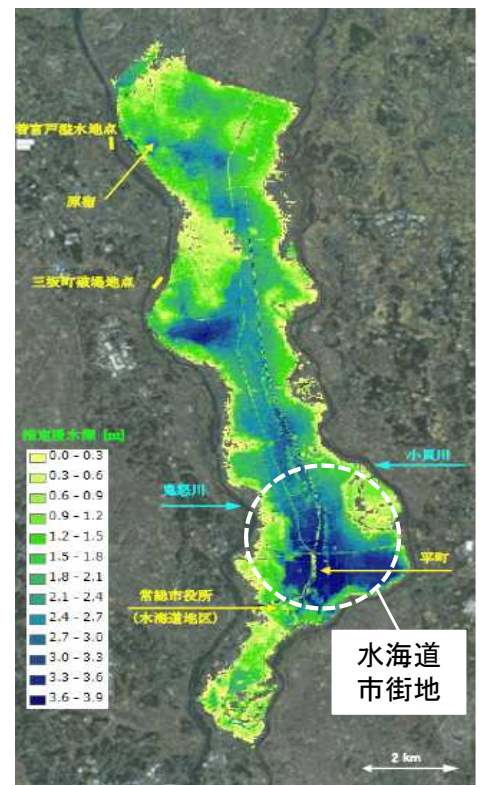
ヒアリング調査の様子

常総市の住民ヒアリング調査による浸水深の推定結果の比較

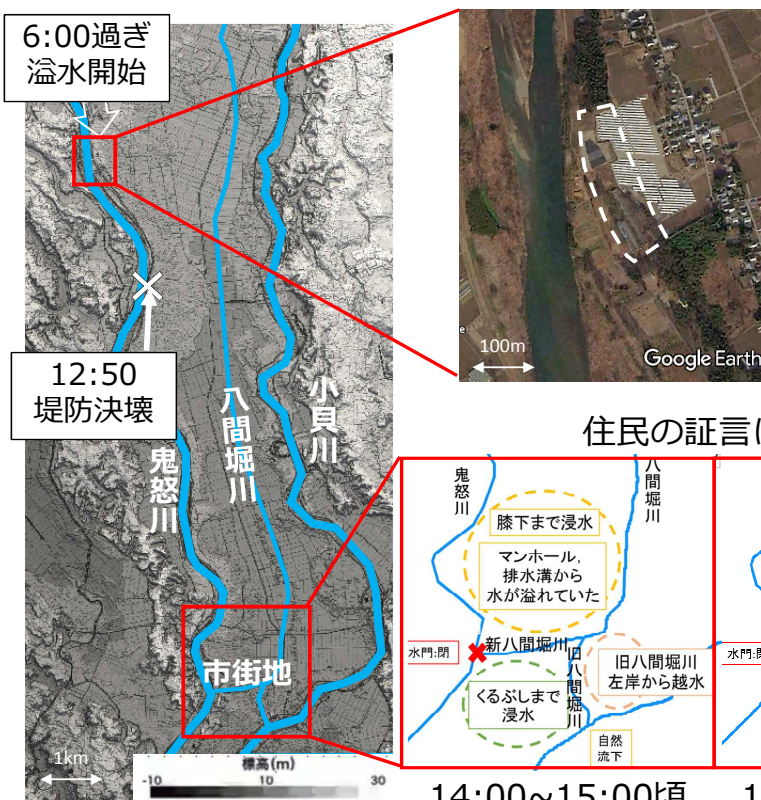


最大浸水深の分布

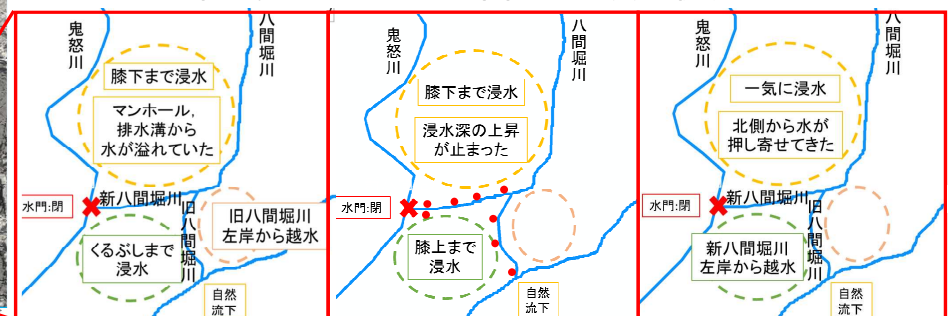
(住民の記憶や意見による浸水深を空間内挿したの)

佐山ら*によるGPSを用いた
最大浸水深分布の推定結果(*平成27年関東・東北水害 鬼怒川氾濫による
常総市周辺の浸水深分布調査 第二報)

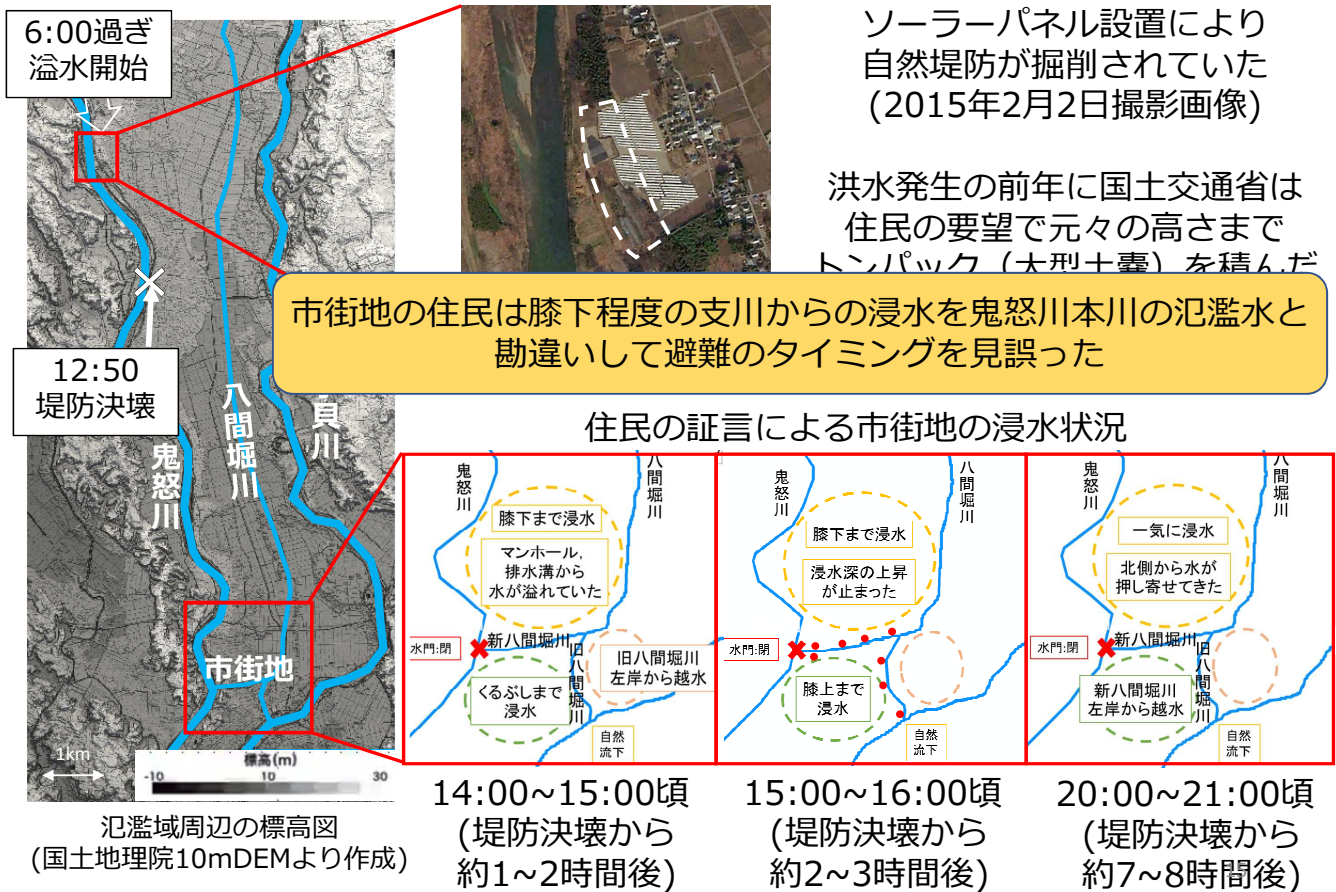
浸水区域の地形特徴と市街地の浸水状況について

ソーラーパネル設置により
自然堤防が掘削されていた
(2015年2月2日撮影画像)洪水発生の前年に国土交通省は
住民の要望で元々の高さまで
トンパック（大型土嚢）を積んだ※国土交通省関東地方整備局
『平成27年9月関東・東北豪雨災害に係る洪水被害
及び復旧状況等について』

住民の証言による市街地の浸水状況

14:00~15:00頃
(堤防決壊から
約1~2時間後)15:00~16:00頃
(堤防決壊から
約2~3時間後)20:00~21:00頃
(堤防決壊から
約7~8時間後)氾濫域周辺の標高図
(国土地理院10mDEMより作成)

浸水区域の地形特徴と市街地の浸水状況について



洪水氾濫解析による常総市内の浸水状況の再現

河道と氾濫原の一体解析

基礎式(浅水流方程式)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

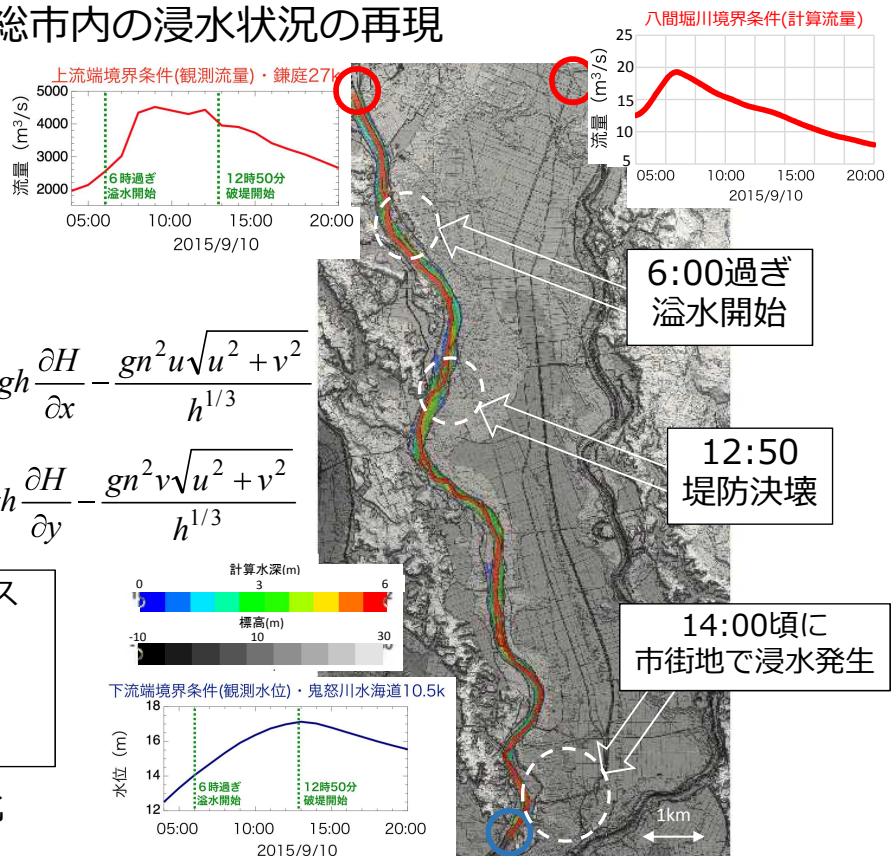
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

M, N : x, y 方向の流量フラックス
 t : 時間座標、 x, y : 平面座標
 h : 水深、 g : 重力加速度
 n : 粗度係数、 H : 水位
 u, v : x, y 方向の流速

Leap-frog法により差分化
 $\Delta x = \Delta y = 10\text{m}$ 、 $\Delta t = 0.2\text{s}$

粗度係数は河道と氾濫原で
 一様に $0.03[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ とした

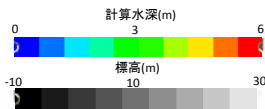


洪水氾濫解析による浸水拡大状況と住民の避難行動について

B.C. 鬼怒川の上流端流量(観測値)

2015/9/10 04:00

- 避難した世帯の代表者(161)
- 避難した世帯の代表者(142)
(避難開始時間と避難先不明)
- 避難しなかった世帯(209)



6:00過ぎ
に溢水

B.C. 八間堀川の上流端流量
(流出解析より算出)

ヒアリング調査 516件実施

「避難した」と303件のうち、
避難経路と避難開始時間・
避難先到着時間が分かる
161件の動線をプロット

・溢水箇所周辺の人
は浸水以前の早い段階で
避難をしている住民が多い

・市街地や鬼怒川・小貝川
沿いでは避難しなかった
住民が多い

12:50に
堤防決壊

計算格子:
10m × 10m
 $\Delta t = 0.2s$

避難先が不明な住民
はこの枠内へ移動

B.C.
鬼怒川の水位
(観測値)

14:00過ぎに
浸水が始まる

1km

他地域との日頃の防災意識についての比較

2015年8月に実施した京都府福知山市における住民ヒアリング調査



<京都府福知山市>

人口：79,916人（平成28年2月末現在）（常総市：64,854人）

調査期間：2日間（2015年8月29日-30日）

調査員：10名（学生）

調査対象：福知山市内の浸水想定区域内の住民

取得数：215件

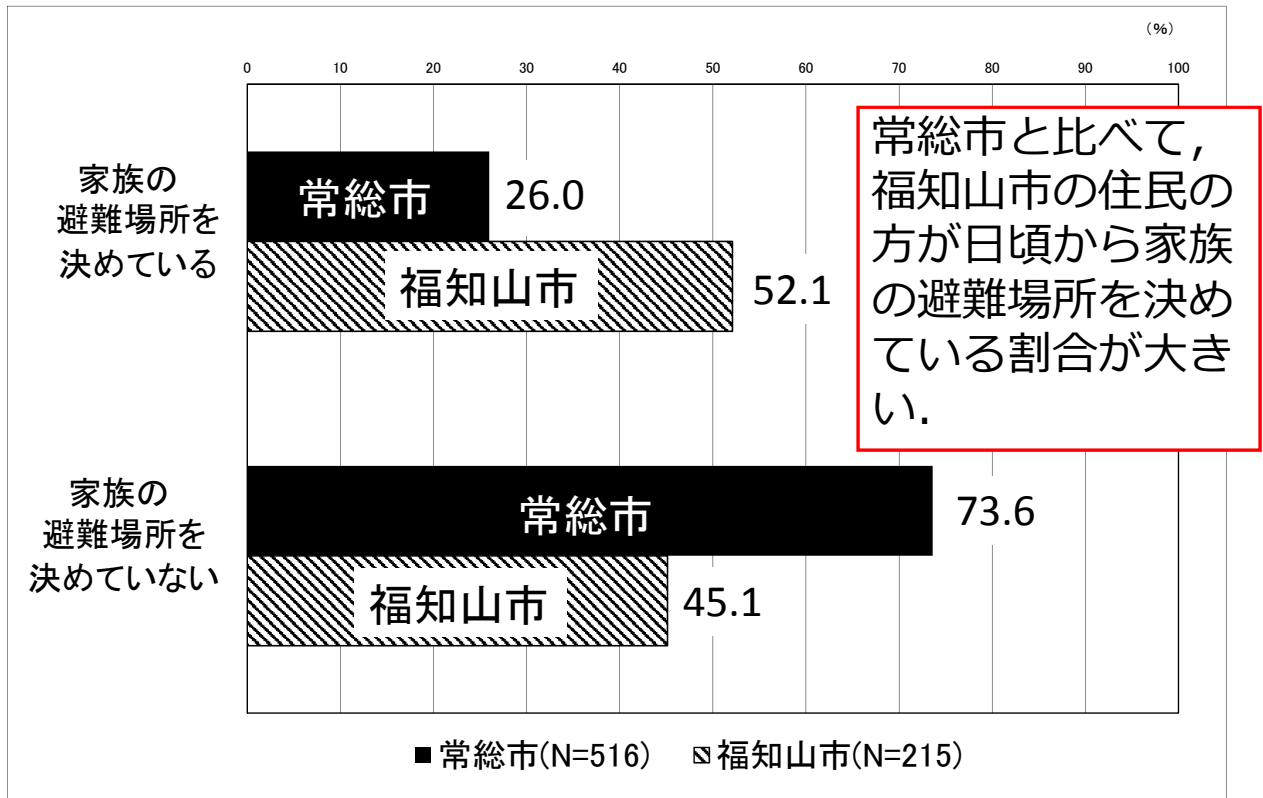
調査方法：対面式でのヒアリング調査

2013年、2014年と2年続けて
由良川の氾濫による浸水被害が発生

1945年以降の約70年間で13回の
浸水被害が発生している地域

常総市と福知山市における避難場所を日頃から決めている住民の割合

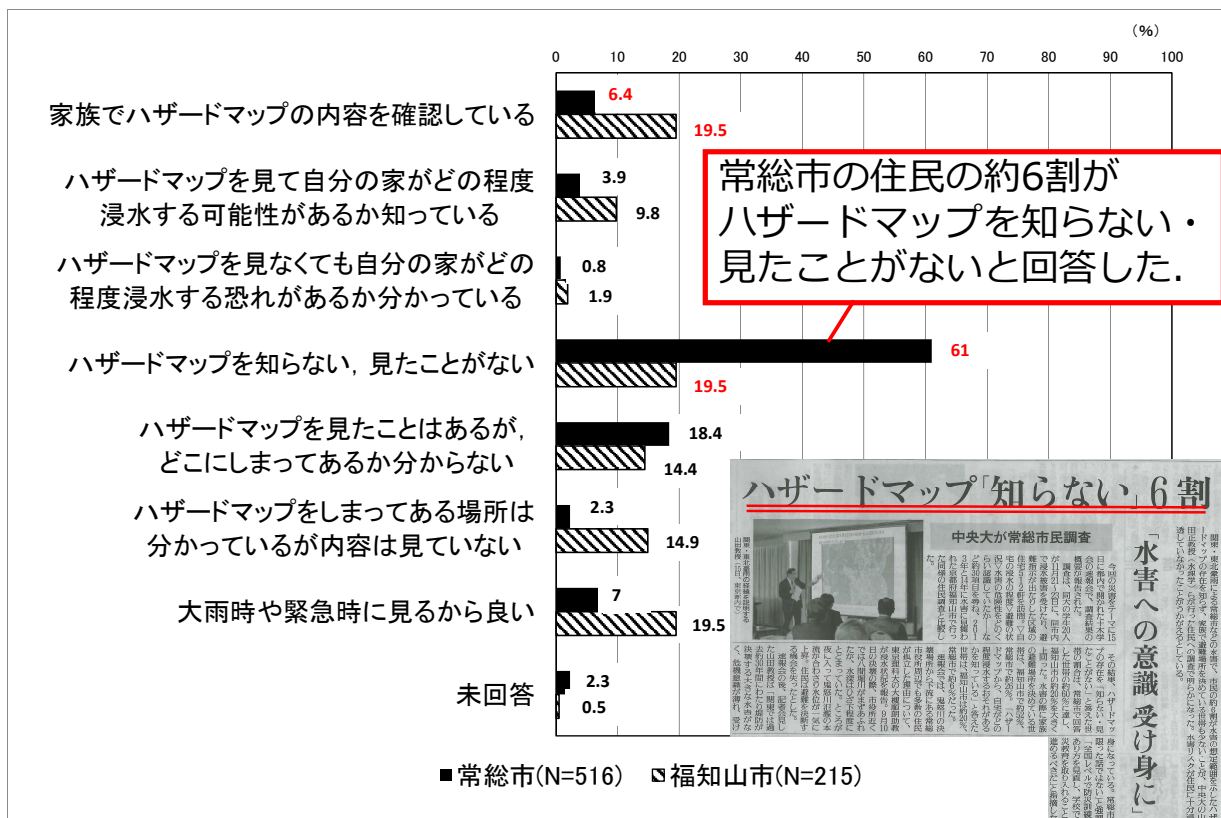
質問項目：日頃から家族の避難場所を決めているか



19

常総市と福知山市における日頃のハザードマップの確認状況

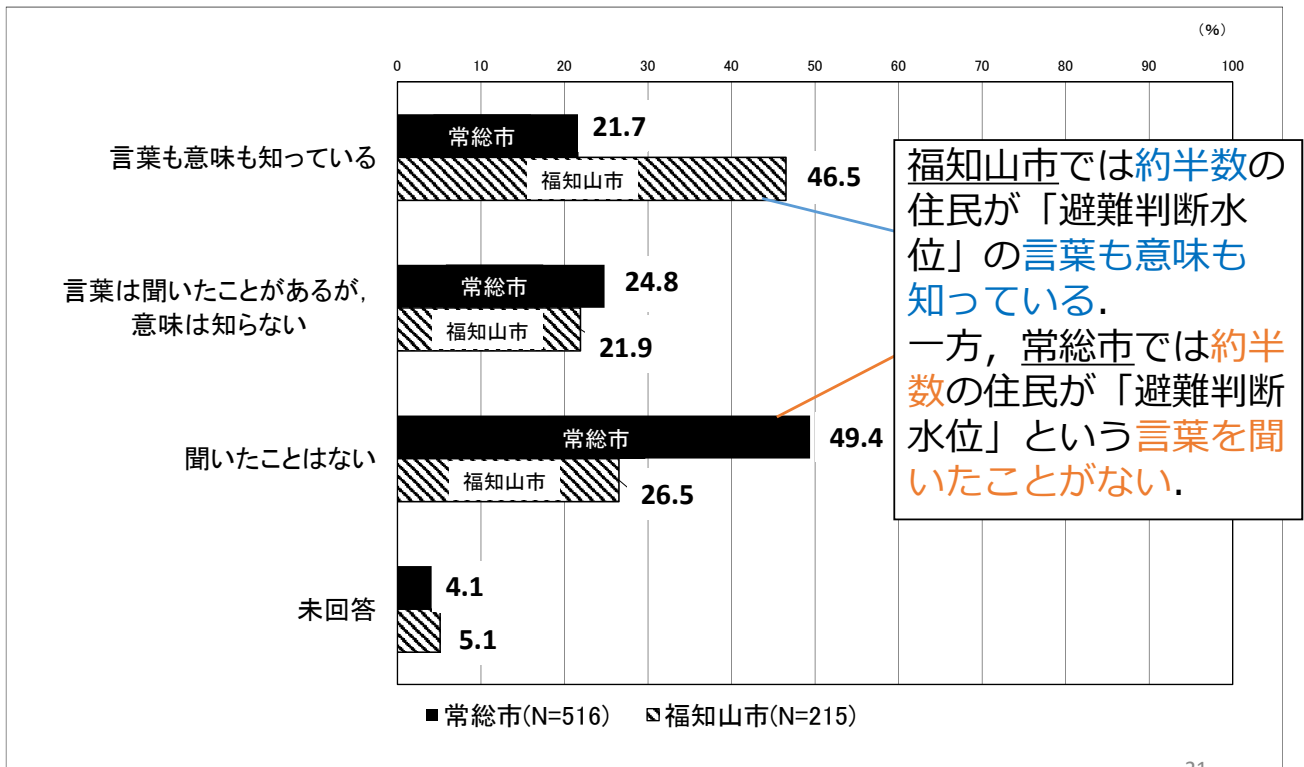
質問項目：ハザードマップを見たことがあるか。



読売新聞朝刊：2015年12月16日

常総市と福知山市における 「避難判断水位」という言葉を知っている住民の割合

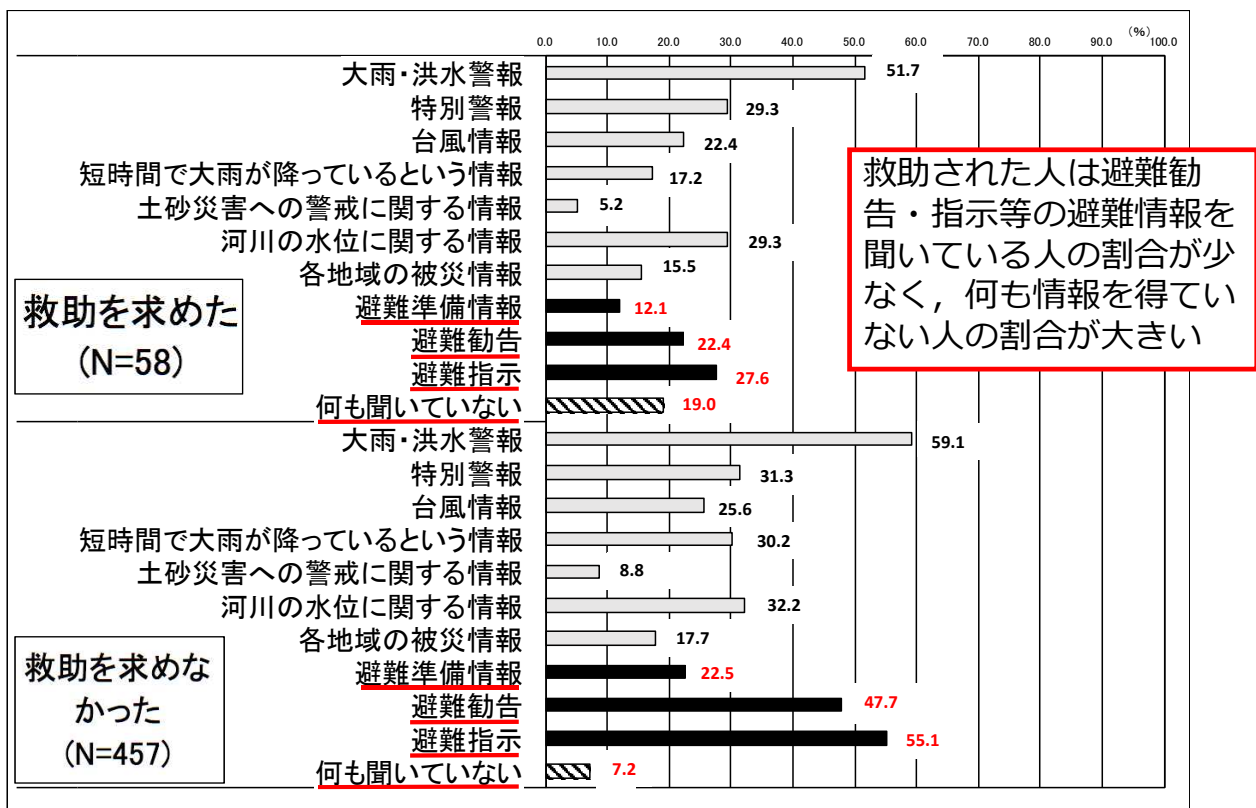
質問項目：「避難判断水位」という言葉や意味を知っているか



21

常総市における「救助要請状況」と「災害時に聞いていた情報」の関係

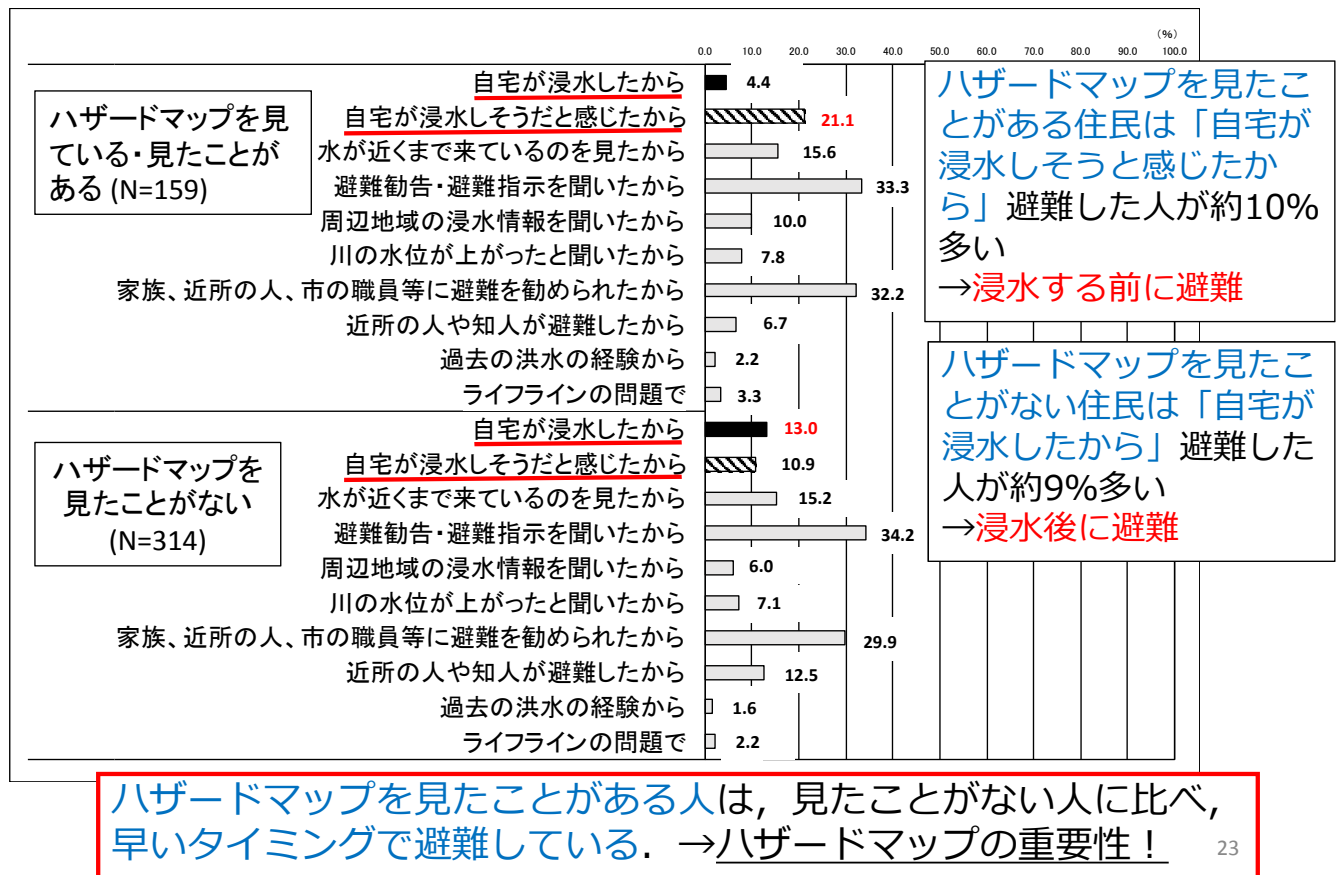
質問項目：「救助を求めましたか？」×「今回の災害時に聞いていた情報をすべて教えてください（複数回答）」



22

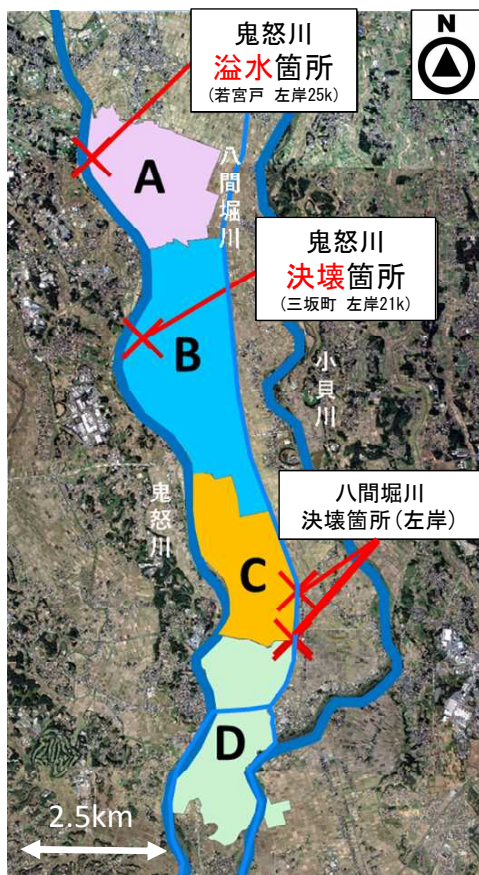
常総市における「ハザードマップ確認状況」と「避難のきっかけ」の関係

質問項目：「ハザードマップをみましたか？」×「避難のきっかけは何でしたか？」



23

地区毎の避難に関する情報の取得状況と避難状況



4つの地区を定義して

情報取得状況と避難状況について整理した。

地区A：鬼怒川堤防からの**溢水**箇所周辺
(原宿・小保川・本石下・若宮戸)

地区B：鬼怒川堤防の**決壊**箇所周辺
(新石下・東野原・三坂町・三坂新田・大房・山口・平内・収納谷)

地区C：鬼怒川堤防決壊箇所と水海道市街地の間
(沖新田町・中妻町・中山町)

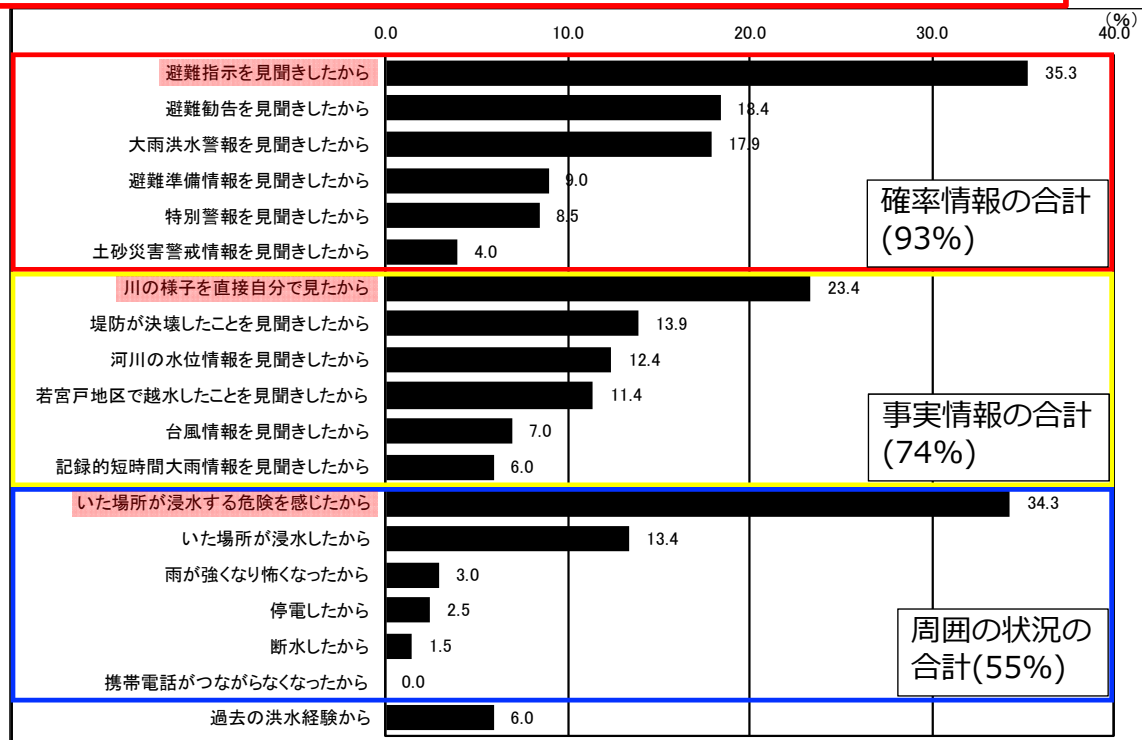
地区D：水海道**市街地**
(相野谷町・森下町・橋本町・小山戸町・淵頭町・本町・栄町・宝町・山田町・諏訪町・高野町・天満町・川又町)

24

避難のきっかけについて（複数回答）

事実情報：その時点までに発生・観測された事実などの情報（ex.雨量や水位の観測値に基づく情報）

確率情報：その時点以降に何らかの事象の発生確率が高いこと(ex.特別警報、避難指示)

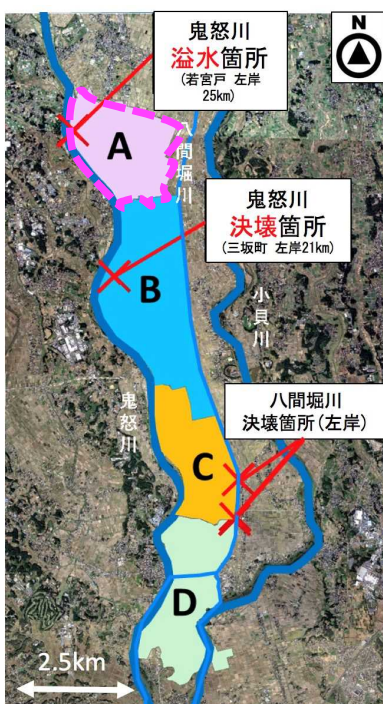


避難のきっかけは、**確率情報の合計**が最も多く93%、次いで事実情報、周囲の状況であった。

N=201

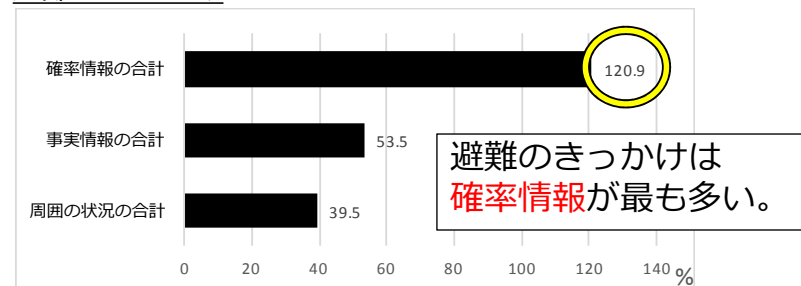
25

A地区（溢水箇所周辺）避難のきっかけと避難開始時刻



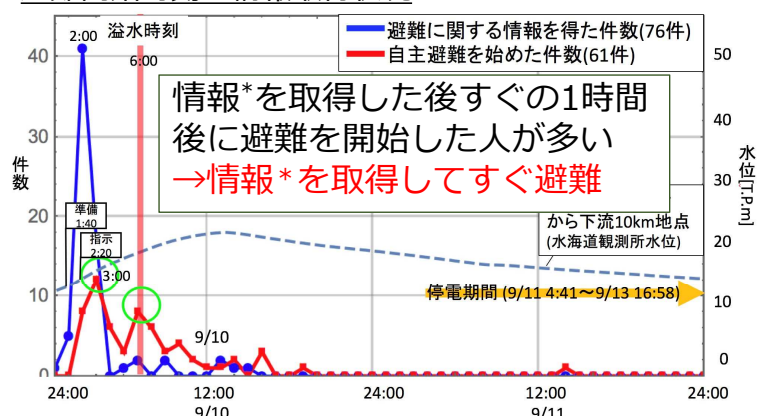
ヒアリング実施箇所の区分図

避難のきっかけ



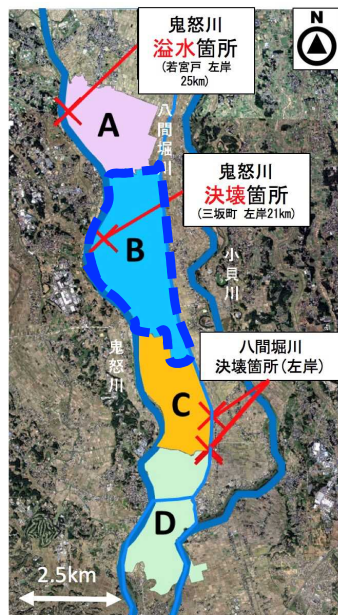
避難のきっかけは
確率情報が最も多い。

避難開始時刻と情報取得状況



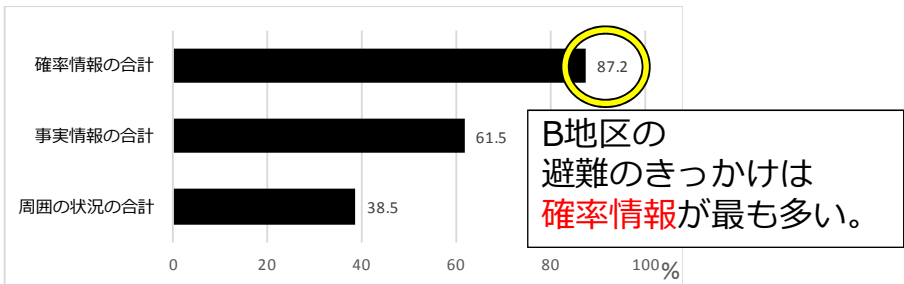
- ・日頃から浸水のリスクを容易に認識できるA地区では確率情報で避難した。

B地区（決壊箇所周辺）避難のきっかけと避難開始時刻

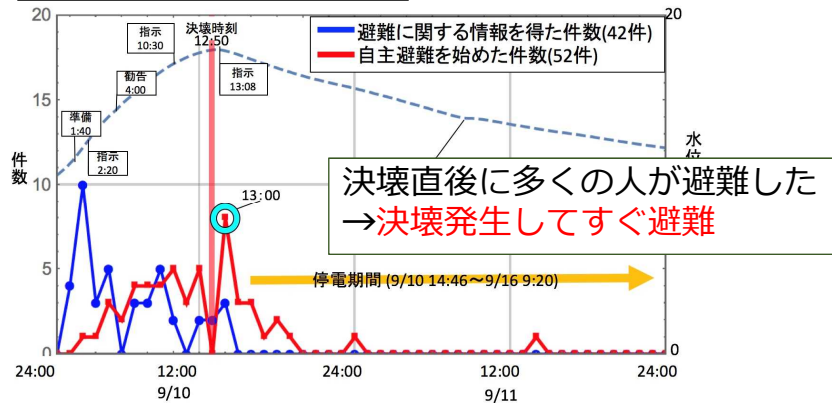


ヒアリング実施箇所の区分図

避難のきっかけ

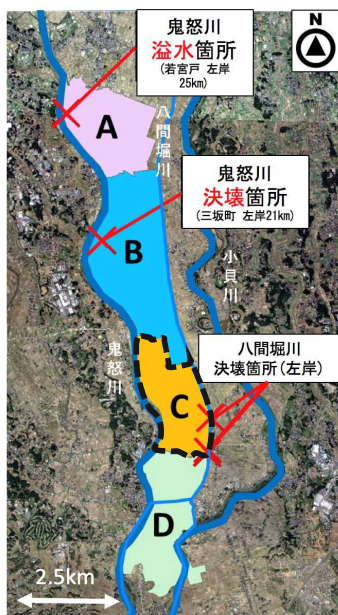


避難開始時刻と情報取得状況



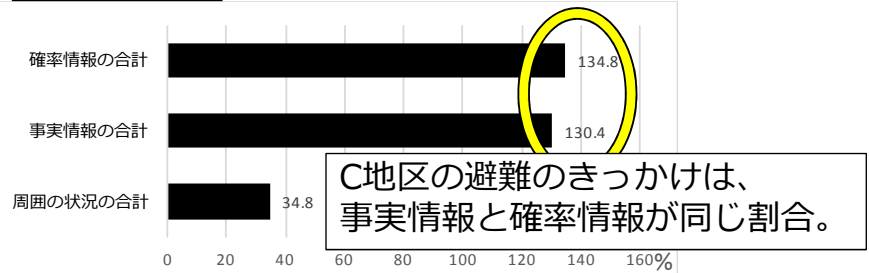
- ・避難のきっかけは確率情報が多い。
- ・決壊はいつどこで発生するか予測困難であり、事前に情報得ても避難せず、実際に決壊してから多くの人が避難している。

C地区（決壊箇所と市街地の間）避難のきっかけと避難開始時刻

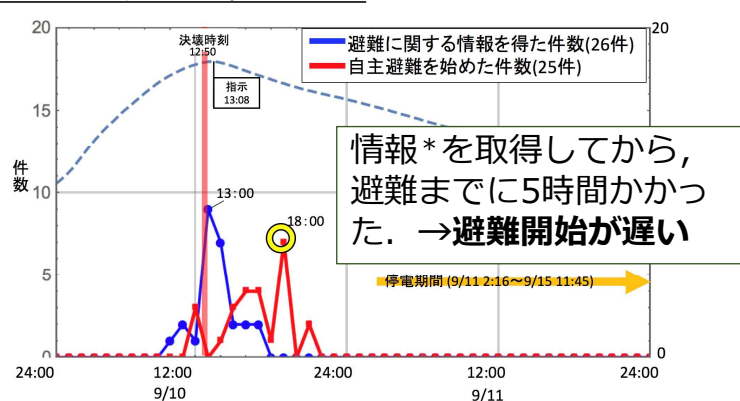


ヒアリング実施箇所の区分図

避難のきっかけ

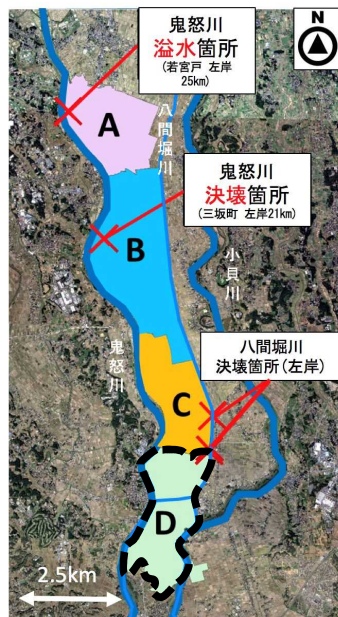


避難開始時刻と情報取得状況



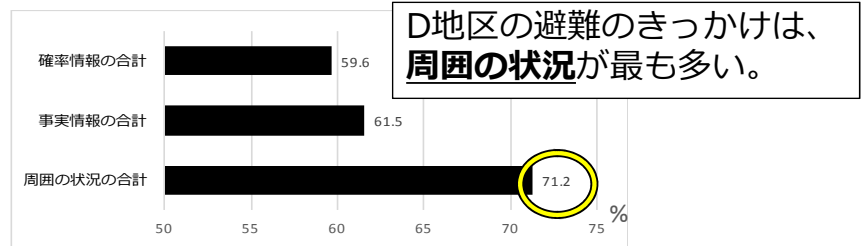
情報を得てから避難するまでに時間がかかっている。
 確率情報と事実情報の合計が大きい
 →複数の情報を総合的に判断して避難したと考えられる。

D地区（市街地周辺）避難のきっかけと避難開始時刻

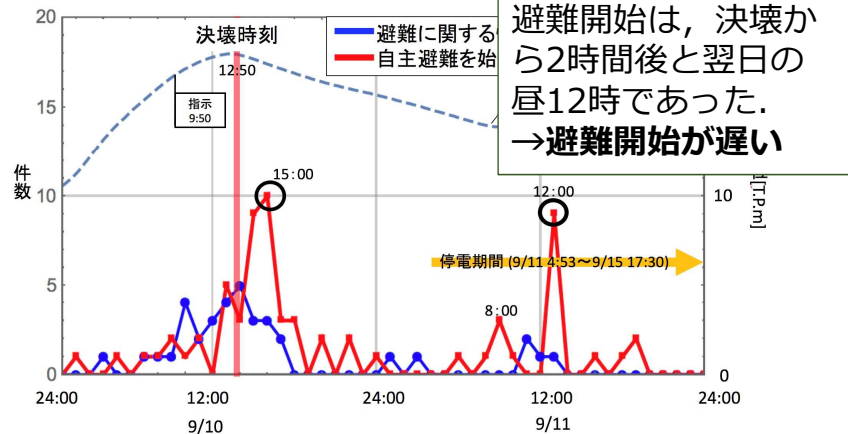


ヒアリング実施箇所の区分図

避難のきっかけ

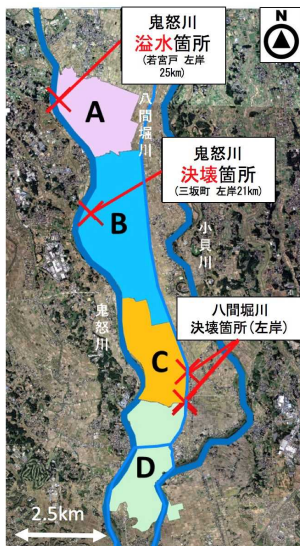


避難開始時刻と情報取得状況

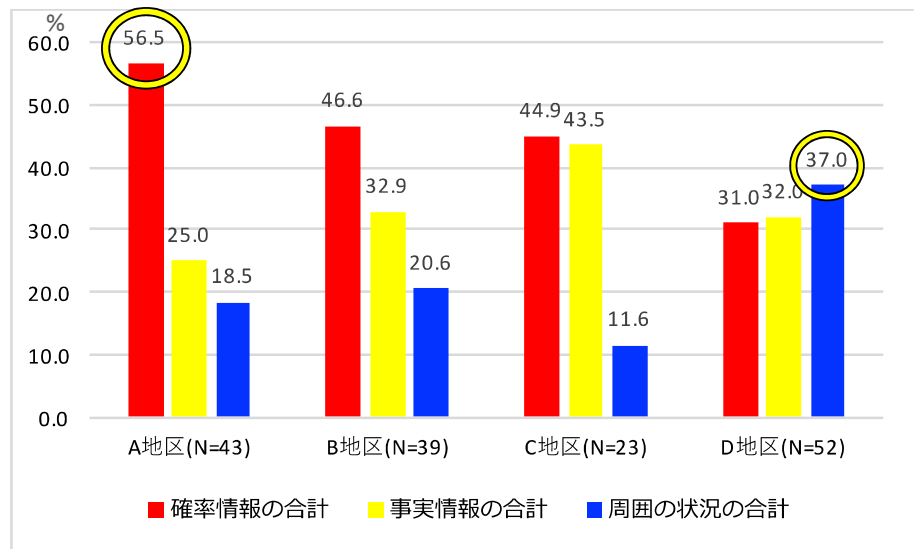


避難が遅く、これから起きる可能性がある確率情報・今起きている事実情報よりも、**周囲の状況に変化が起きたこと**が避難のきっかけとなっていた。

地区ごとの避難のきっかけ（複数回答）



ヒアリング実施箇所の区分図



A地区：住民が浸水リスクを容易に認識できる地区では**確率情報**が最も多い。

B地区：確率情報が最も多いが、事実情報もA地区より多い。

C地区：確率情報と事実情報はほぼ同割合。

複数の情報を総合的に判断して避難したと推測できる。

D地区：2度の浸水で逃げ遅れて避難する人が少なかった地区では、避難のきっかけが例えば周囲の浸水の**周囲の状況**が多かった。

避難に効果のあった情報について

既知

$p(x)$: 避難した住民の割合 (確率)
 $p(y)$: ○○情報を聞いた住民の割合 (確率)
 $p(y|x)$: 避難した人が聞いた○○情報の割合 (確率)

$p(x|y)$: ○○情報を聞いて避難した住民の割合 (確率)

$$\underbrace{p(x|y)}_{\text{事後確率}} = \frac{p(y|x) \underbrace{p(x)}_{\text{事前確率}}}{\sum_x p(y|x)p(x)} \quad \text{Bayesの定理}$$

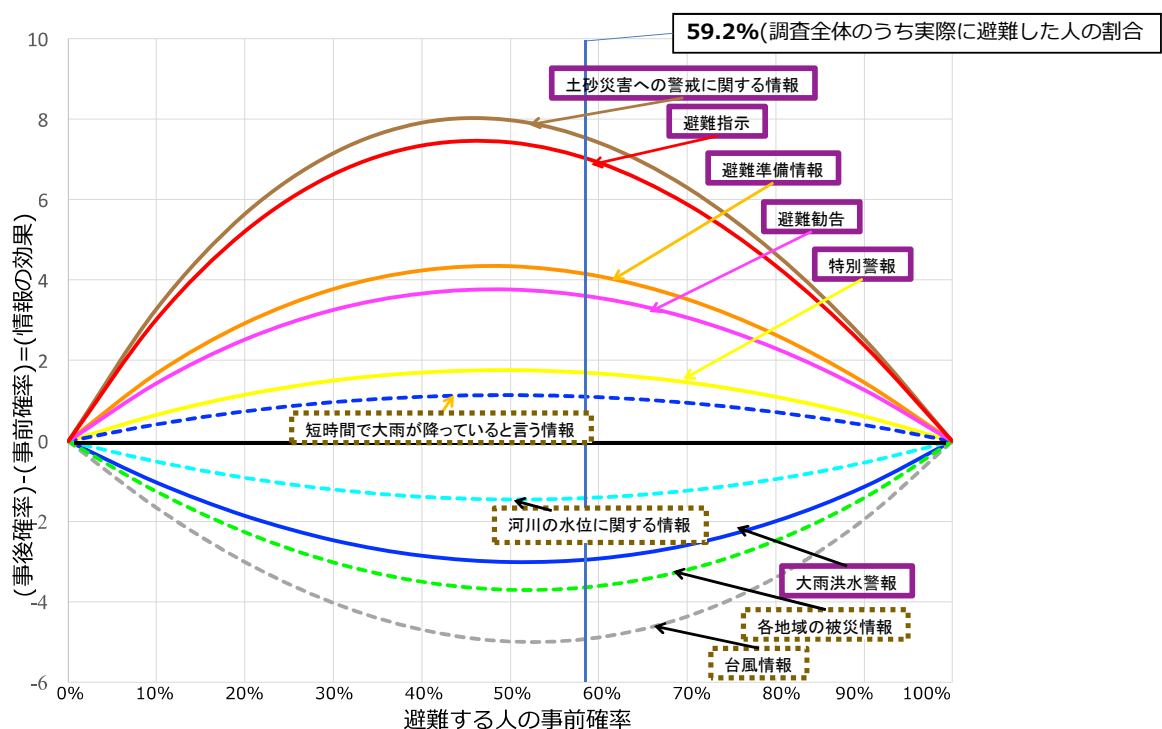
(○○情報が避難に及ぼした効果)=(事後確率)-(事前確率)

31

常総市全体 情報を得て避難した人の事後確率と避難する人の事前確率の関係

事実情報：その時点までに発生・観測された事実などの情報 (ex.雨量や水位の観測値に基づく情報)

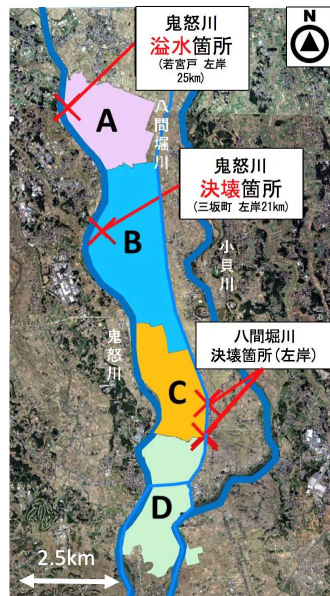
確率情報：その時点以降に何らかの事象の発生確率が高いこと(ex.特別警報、避難指示)



→常総市全体では事実情報よりも確率情報が避難に効果がある

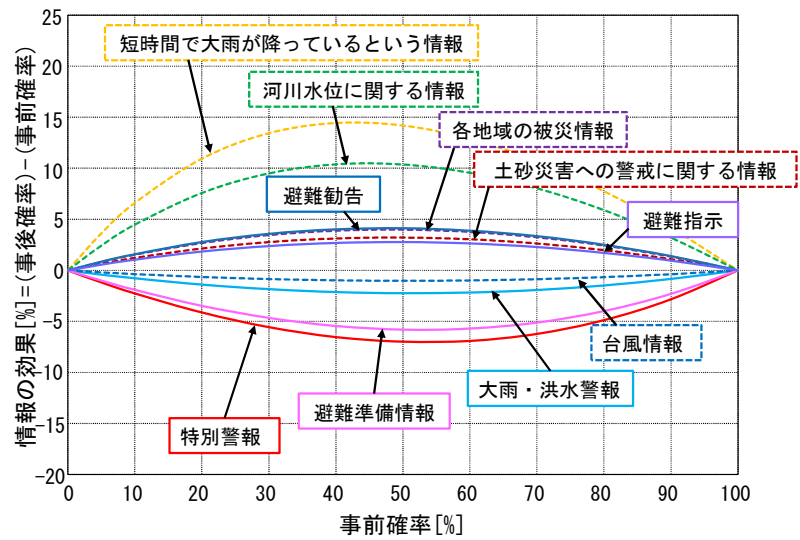
32

地区A(溢水箇所周辺)

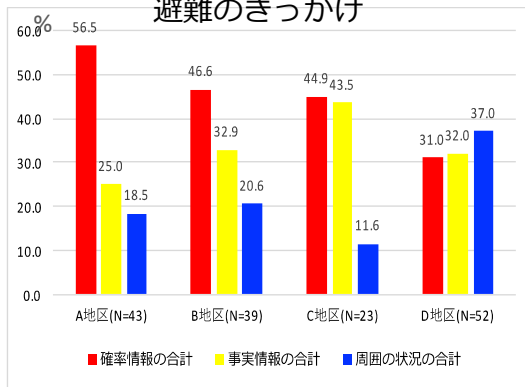


ヒアリング実施箇所の区分図

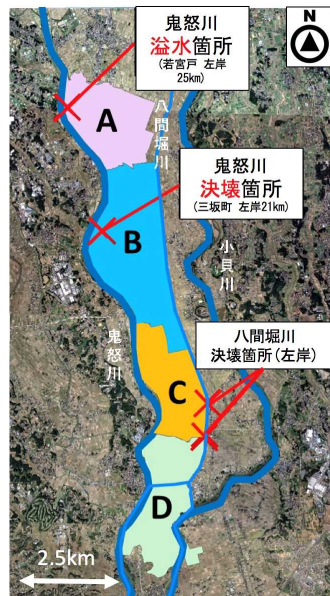
避難のきっかけは確率情報が最も多いが、避難に効果がある情報は雨量や河川水位のような事実情報が避難に効果があった。



避難のきっかけ

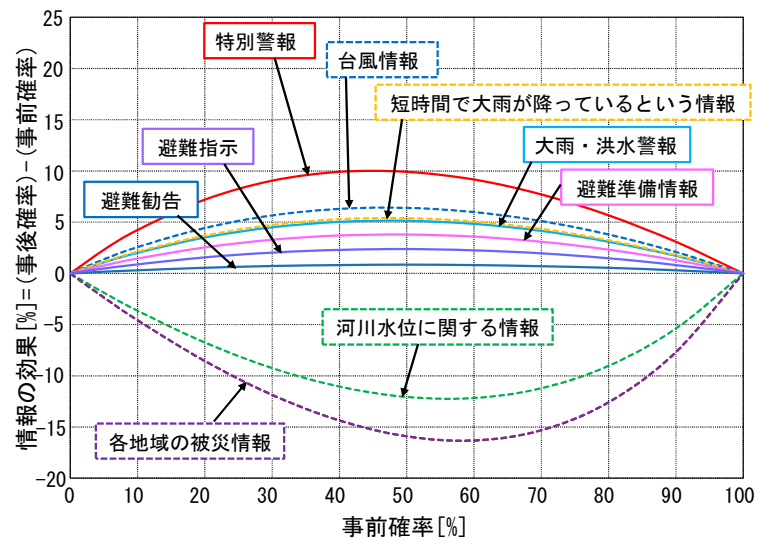


地区B(決壊箇所周辺)

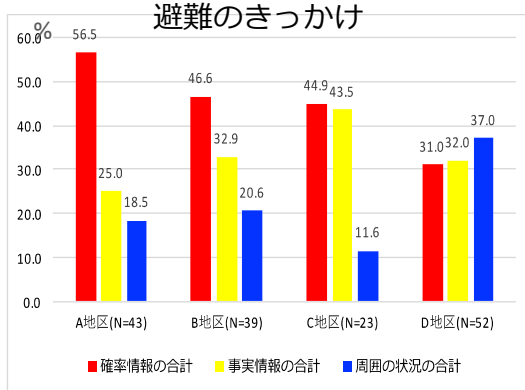


ヒアリング実施箇所の区分図

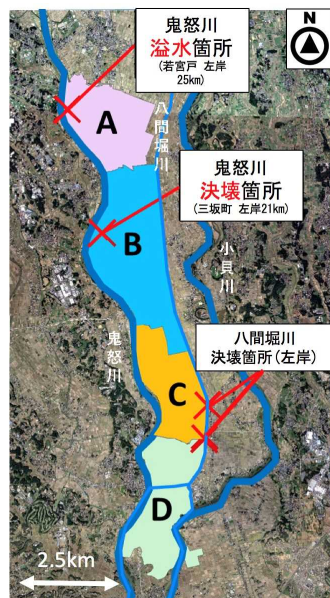
避難に効果がある情報は確率情報と事実情報の両方あるが、河川水位に関する情報を得た住民は避難しなくなっている。



避難のきっかけ

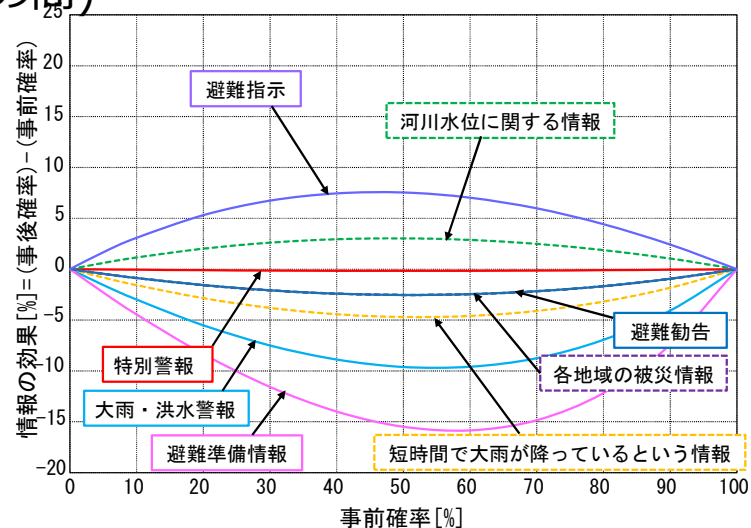


地区C(決壊箇所と市街地の間)

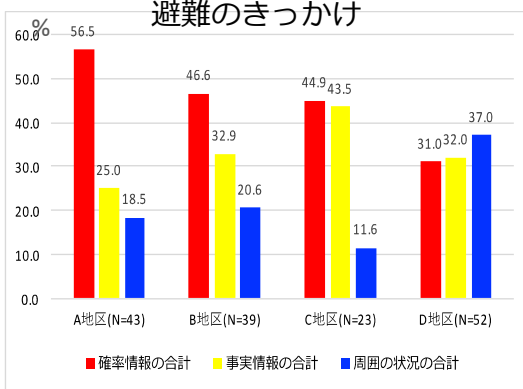


ヒアリング実施箇所の区分図

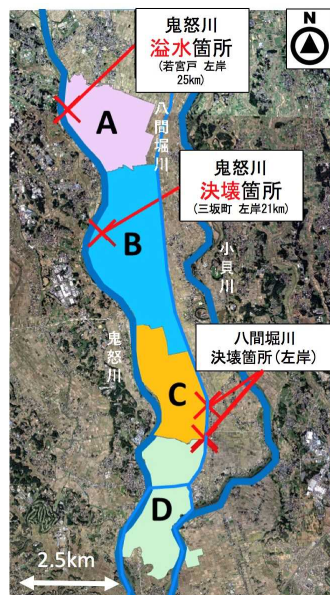
避難に効果がある少なく、
避難指示と河川の水位に関する情報のみ。



避難のきっかけ

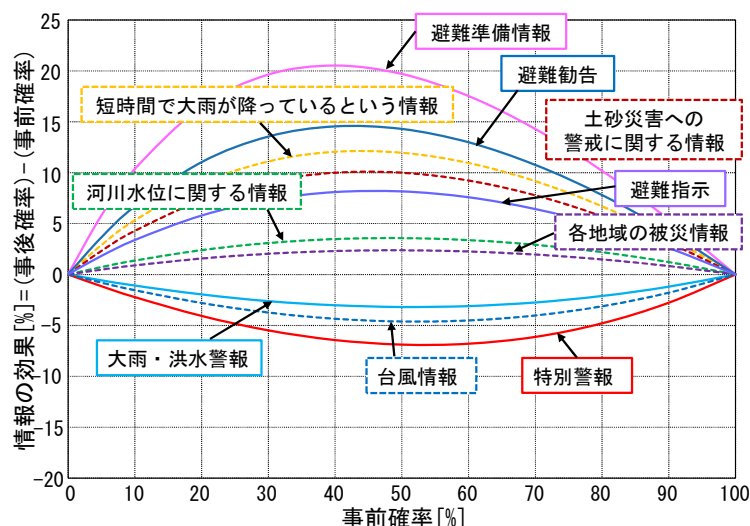


地区D(市街地)

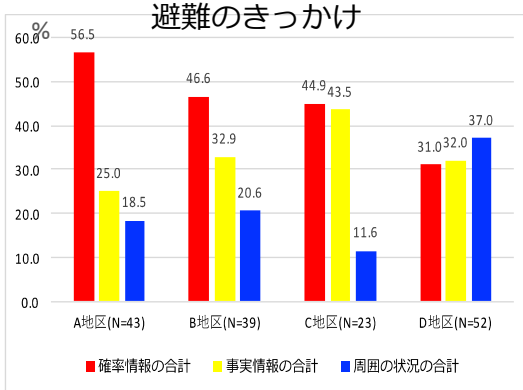


ヒアリング実施箇所の区分図

避難に効果がある情報は確率
情報と事実情報の両方がある
が、特に避難勧告や避難準備
情報という避難に関する情報
であった。

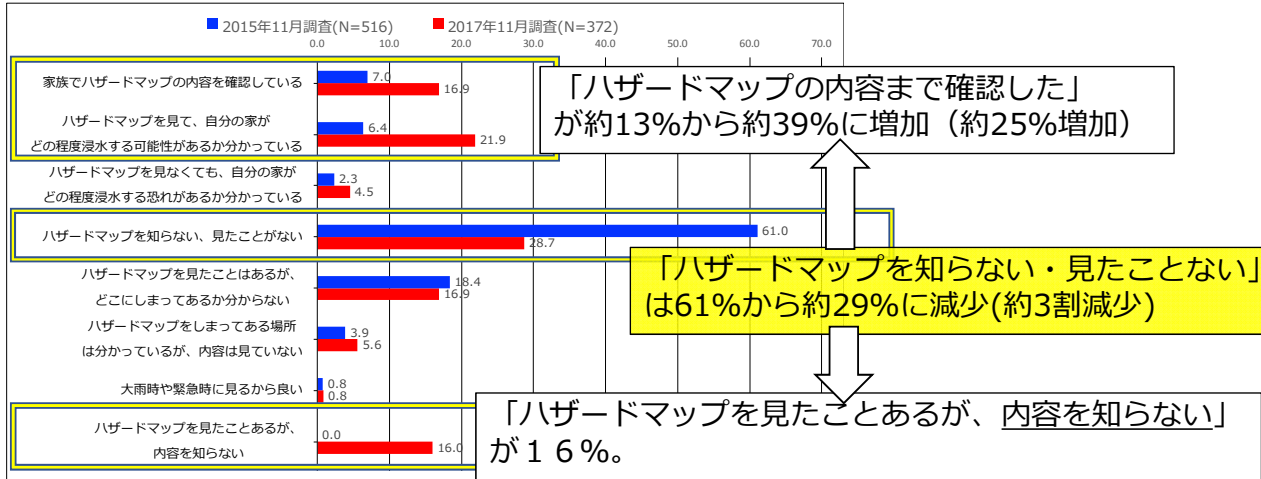


避難のきっかけ

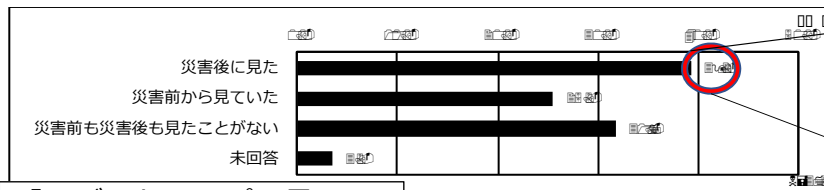


ハザードマップ確認状況

質問:ハザードマップを見たことがありますか？（複数回答）

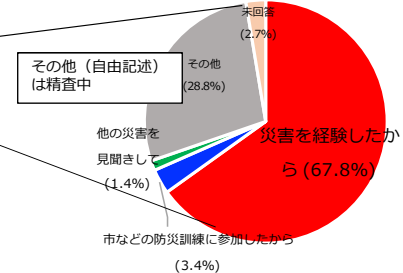


質問:ハザードマップを災害後に見ましたか？



「ハザードマップを見た」と回答した約65%のうち、約40%は「災害後に見た」と回答した。

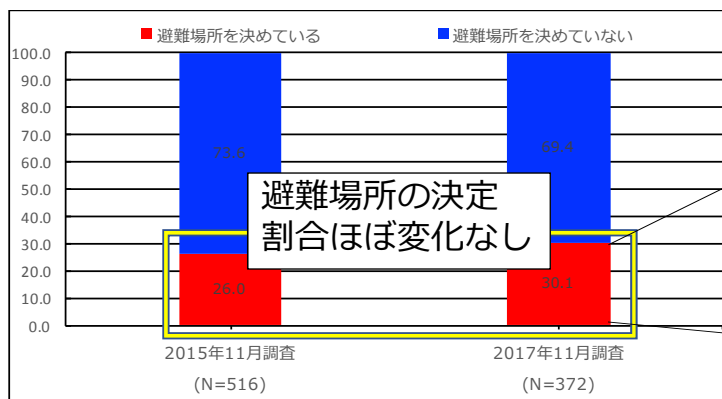
質問:災害後にハザードマップを見るようになった理由



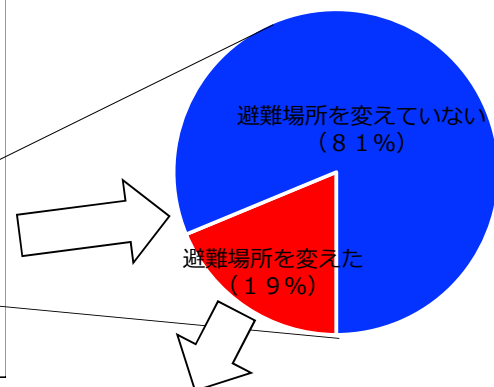
「災害を経験したから」が約68%と最も多かった。常総市では「マイ・タイムライン」等の防災訓練を行っていたが「市などの防災訓練に参加したから」は約4%と少なかった。 37

避難場所決定状況

質問:家族で避難場所を決めていますか



質問:災害後に避難場所を変更しましたか。



質問:災害後に避難場所を変更した理由はなんですか。

