

# 2023年度河川技術に関するシンポジウム

## 降雨による山地斜面における 岩盤内地下水位の変動特性

2023.6.23

○小谷隼人<sup>1)</sup>・内田龍彦<sup>1)</sup>・井上卓也<sup>1)</sup>・鳩野美佐子<sup>1)</sup>  
梶昭仁<sup>2)</sup>・小森潤二<sup>2)</sup>・宮田英樹<sup>2)</sup>・海堀正博<sup>3)</sup>

1)広島大学大学院 2)東京建設コンサルタント 3)広島大学防災・減災研究センター



# 背景・目的

## 土石流

### 発生原因

- ・ 集中豪雨
- ・ 長期的な降雨

### 発生メカニズム

豪雨により大量の水が供給  
⇒土砂礫と水が同時に大量に存在

流動性を持つことによって発生(太田,1992)

一方でこのメカニズムでは説明  
のできない土石流がみられる

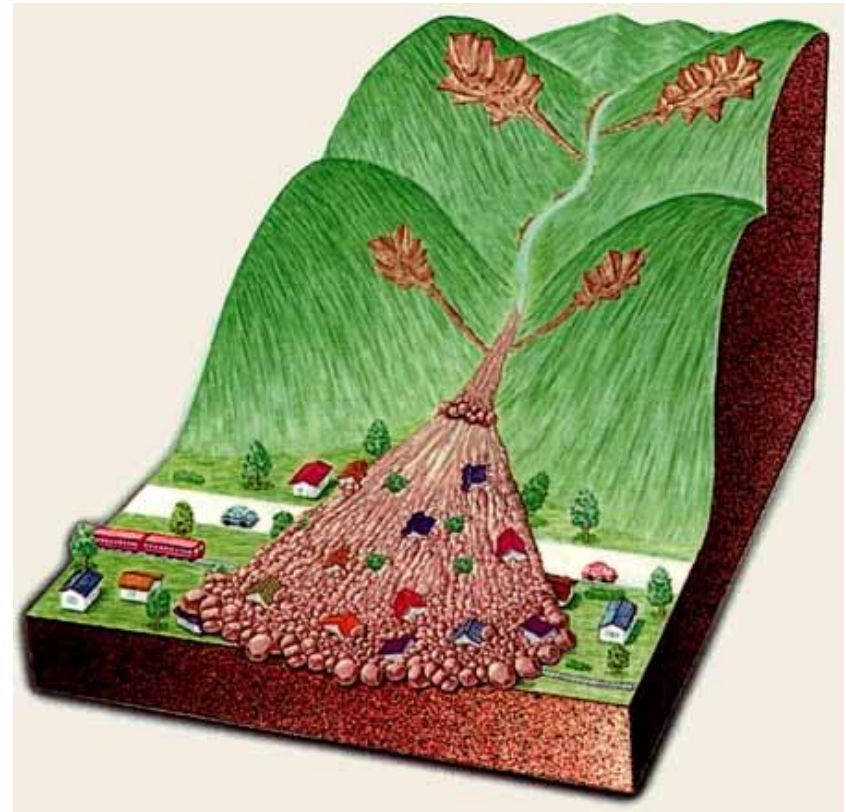


図1 土石流 国土交通省より  
[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/dos/ekiryuu\\_taisaku.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/dos/ekiryuu_taisaku.html)

太田 猛彦：土石流発生のメカニズム(1)  
砂防学会誌45巻2号, pp.179-184.

# 背景・目的

## 土石流の特徴

- ・平成30年7月豪雨時に発生  
(広範囲かつ長時間の降雨)
- ・本岳の緩やかな傾斜のある山頂付近からほぼ同じ距離を起点として放射状に同時多発的に土石流が発生(国土交通省,2018)



これらの特徴から

降雨の影響で地下水位が山頂付近まで上昇し、  
間隙水圧が上昇して地下水が噴き出たのでは？

既往の観測から岩盤内地下水が表層にあふれ表層地下水の温度が急激に低下することが確認(小橋ら,2019)



図2 本岳(東広島市 34.3091, 132.6736)  
Google Earthより

国土交通省：平成30年7月豪雨における  
土砂災害の被害実態：  
[https://www.mlit.go.jp/river/sabo/  
/committee\\_jikkousei/180911/02s  
hiryo2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei/180911/02s_hiryu2.pdf)

小橋力也ら：土石流危険度予測のための  
源頭部における豪雨時の雨水浸透過程に  
関する研究, 土木学会論文集B1 (水工  
学), Vol.75, No.1, pp.191-199,  
2019.

# 背景・目的

## 著者らの研究(笹谷ら,2022)

ががら山における岩盤内／表層地下水水位の変動の違いや降雨に対する反応の遅れを検討



水位と最も相関が良い実効雨量を用いることで変動周期・降雨に対する遅れを表現

## 本研究の目的

同一の山体を観測対象

観測箇所を増やし水位観測



2021年度の結果と比較



水位波形を再現するモデルの開発

笹谷慎之介ら：山地斜面における岩盤内と表層地下水の変動特性に関する研究, 第11回土砂災害に関するシンポジウム論文集11, pp.179-184.

# 検討方法①（水位）



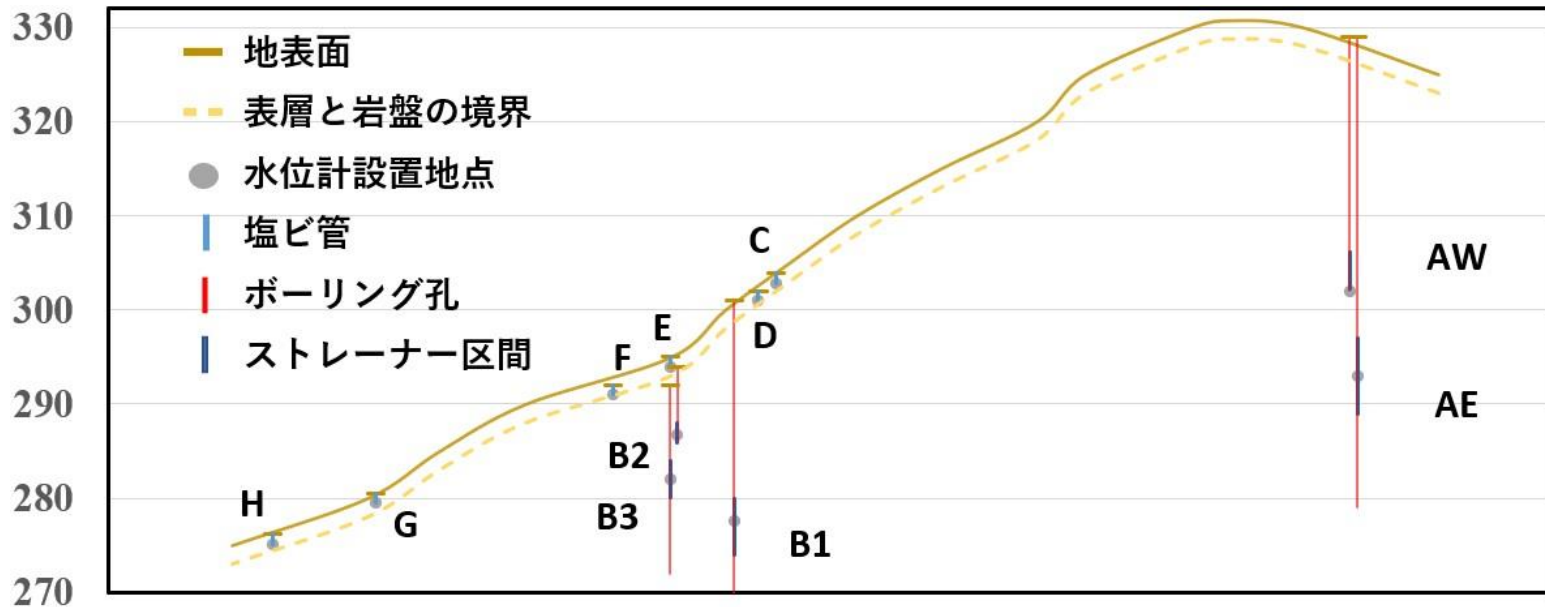
## 地形情報

- ・ 花崗岩流域
- ・ 標高：330.8m
- ・ 平均勾配：約23°
- ・ 過去に土石流が発生  
(観測斜面付近の土砂災害は平成30年7月豪雨時に発生)

図3 ががら山(東広島市 34.4001, 132.7210)  
Google Earthより

# 検討方法① (水位)

ががら山観測箇所を断面的に見た図



	設置深度(m)	集水深さ(m)		設置深度(m)	集水深さ(m)
AE	33.4	32~40	C	0.23	0~0.33
AW	27	22.8~26.8	D	0.63	0~0.71
B1	23.37	21~27	E	1.51	0~1.6
B2	7.21	6~8	F	0.79	0~1.56
B3	10	8~12	G	0.74	0~0.94
			H	0.35	0~0.67

## 検討方法② (雨量)

### 検討方法② (雨量)

雨量データを用いて水位変動を検討

#### 実効雨量式の特徴

- ・  $\alpha$  により、降雨の流出や蒸発散により地表面から失われた水を考慮

⇒過去に降った雨量の影響を時間とともに減少させて計算した雨量の日安

実効雨量

$$D(t) = R(t + T_L) \cdot \Delta t + \alpha \cdot D(t - \Delta t)$$

$$\alpha = 0.5^{\Delta t/T}$$

$D(t)$ : 時刻  $t$  での実効雨量

$R(t)$ : 時刻  $t$  での雨量

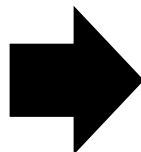
$T$ : 半減期

$T_L$ : 遅れ時間

$\Delta t$ : 観測雨量の時間間隔

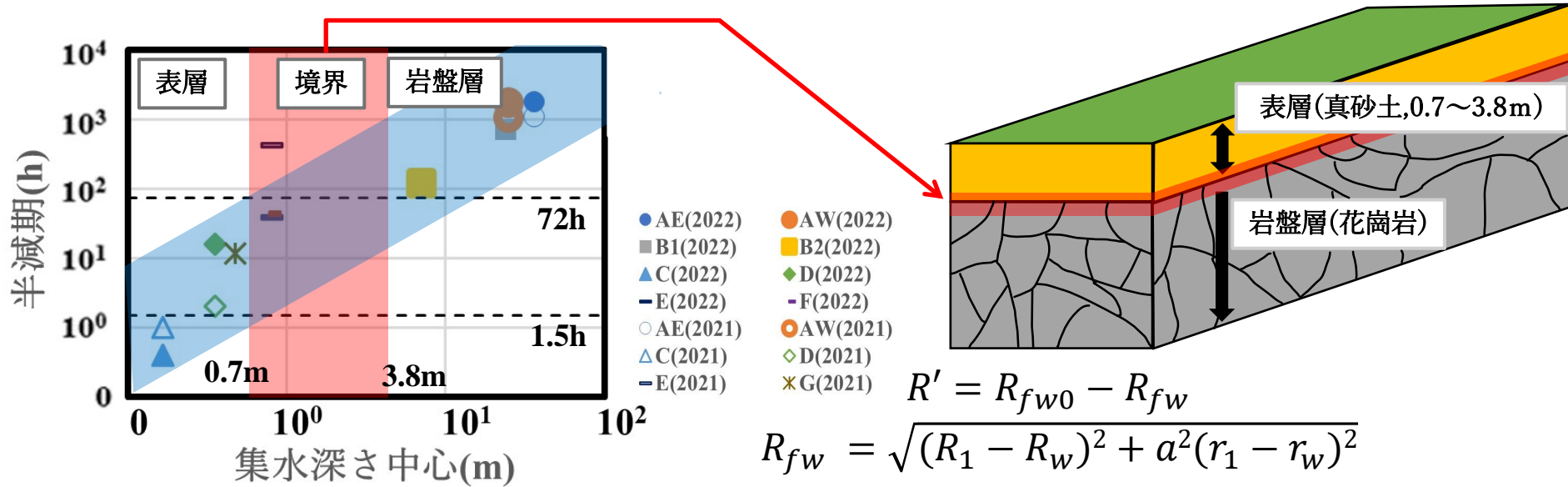
$\alpha$ : 逓減係数

各地点水位  
雨量データ



各地点の水位波形と実効雨量の相関が最も  
高くなる半減期・遅れ時間を抽出する

# 結果・考察（集水深さと半減期の物理的位置関係）



雨量指標 $R'$ で用いられる実効雨量の半減期(中井,2010)

1.5(h) ⇒ 浅い表層での地下水位の変動

72(h) ⇒ 表層と岩盤の境界付近での地下水位の変動

一方で、平成30年7月豪雨で生じた土石流などの評価には課題がある

$R_w$  : 72時間半減期実効雨量(mm)

$r_w$  : 1.5時間半減期実効雨量(mm)

$R_1$  : 座標上の横軸基準点 ( $R_1=600$ mm)

$r_1$  : 座標上の縦軸基準点 ( $r_1=200$ mm)

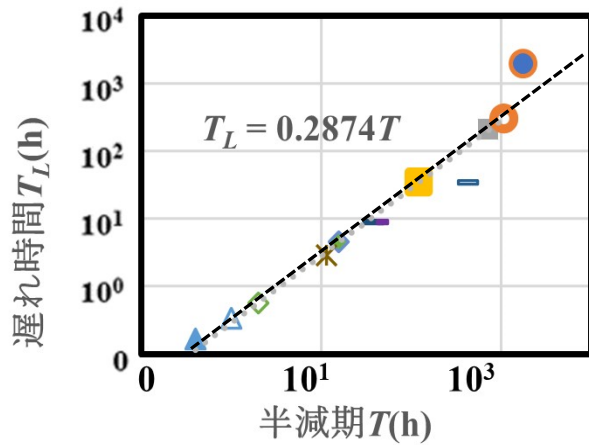
$a$  : 重み係数 ( $a=3$ )

$R_{fw0}$  :  $R_w=0, r_w=0$ の時の $R_{fw}$ 値  
( $R_{fw0}=848.5$ mm)

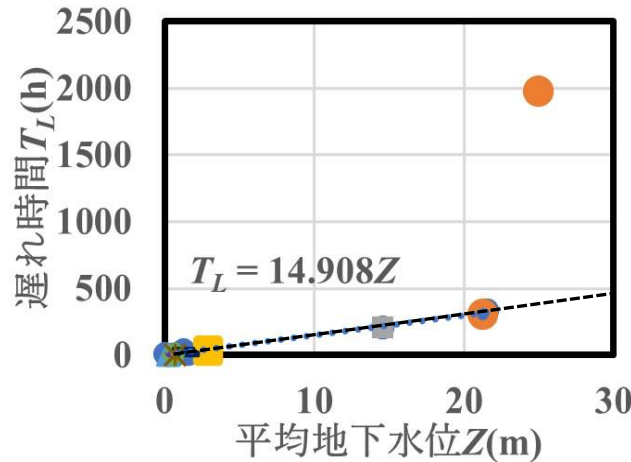
中井真司：地域ごとの降雨特性に着目した土砂移動現象の発生予測に関する研究，広島大学博士論文，175p., 2010.



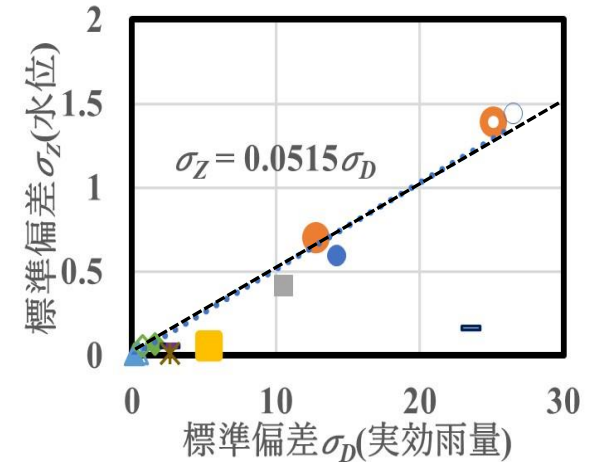
# 結果・考察 (水位予測モデル構築要素)



強い正の相関があり、半減期と遅れ時間は比例している



正の相関がみられ、平均地下水位によって遅れ時間が異なる



水位の標準偏差は実効雨量の標準偏差と概ね比例する  
⇒実効雨量の変化量を水位の変化量に変換

➡ 地表から地下水面までの距離が降雨に対する地下水位変動に影響を与えていると仮定し、水位予測モデルを構築

- AE(2022)
- AW(2022)
- B1(2022)
- B2(2022)
- ▲ C(2022)
- ◆ D(2022)
- E(2022)
- F(2022)
- AE(2021)
- AW(2021)
- △ C(2021)
- ◇ D(2021)
- E(2021)
- \* G(2021)

## 結果・考察（水位予測モデル）

実効雨量

$$D(t) = R(t + T_L) \cdot \Delta t + \alpha \cdot D(t - \Delta t)$$
$$\alpha = 0.5^{\Delta t/T}$$

2つを変数にして実効雨量に  
自由度を持たせる

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{半減期} : T = T_L/a \quad , \quad a = 0.2874 \\ \text{遅れ時間} : T_L = b \times Z \quad , \quad b = 14.908 \end{array} \right.$$

$Z$  : 地表から地下水面までの距離

$Z(t + \Delta t) = \Delta Z + Z(t)$  : 水位の時間変化

$\Delta Z = \Delta D * \sigma^Z / \sigma_D$  : 実効雨量と水位変化の関係式

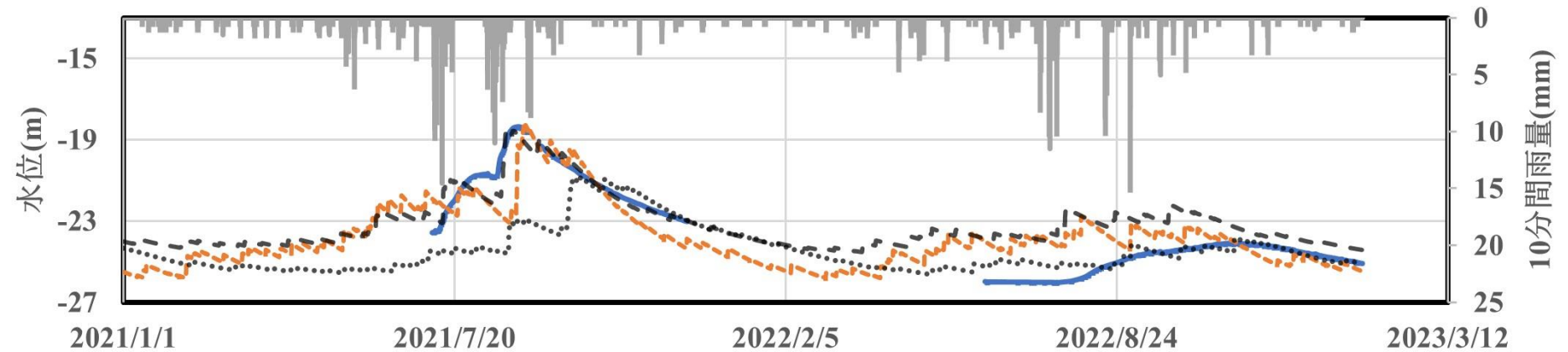
$\Delta Z = (D(t + \Delta t) - D(t)) * \sigma^Z / \sigma_D$  : 実効雨量の変化量式

岩盤内地下水位波形を雨量データと初期水位から再現可能に

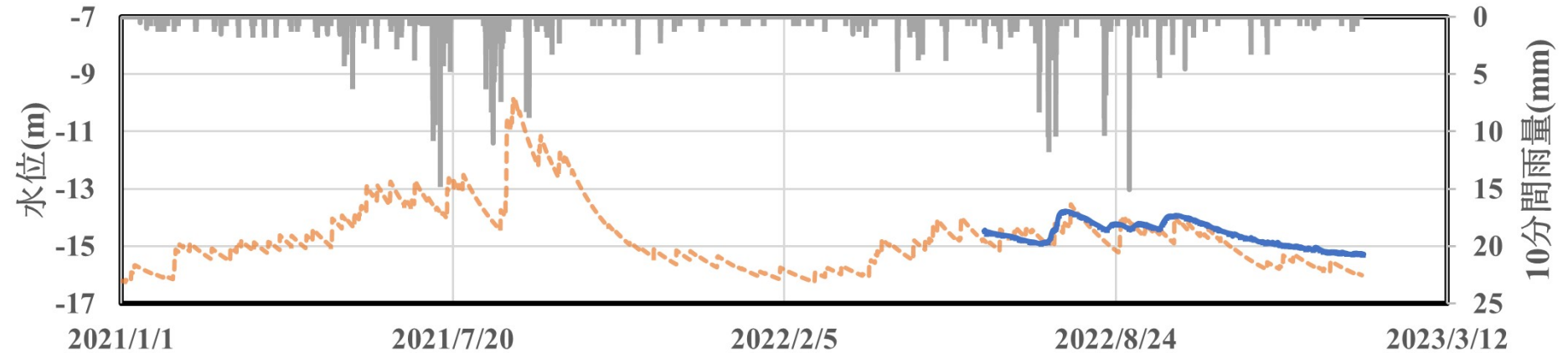
# 結果・考察（水位予測モデルと実測水位の比較）

地点AW（初期水位：-25.5m）

2年間の波形再現



地点B1（初期水位：-16.2m）



- - - 予測水位(本手法)      ——— 観測水位      ——— 雨量  
 - - - 2021年度(T=1056.5(h), TL=311(h))      ..... 2022年度(T=1725.8(h), TL=1070(h))

## 結果・考察（河川流入量の考慮）

地点AW(山頂)における各年度の平均地下水位と最適な半減期

2021年度：-21.20m, 1056.5 h

2022年度：-24.93m, 1725.8 h

地下水位が高いほど水位の減衰を表す半減期が小さくなるので、帯水層から移動する水の量が多くなる



山体から河川に流入する水の量は長期変動成分をもつ岩盤内地下水位が大きいほど多くなるのでは？

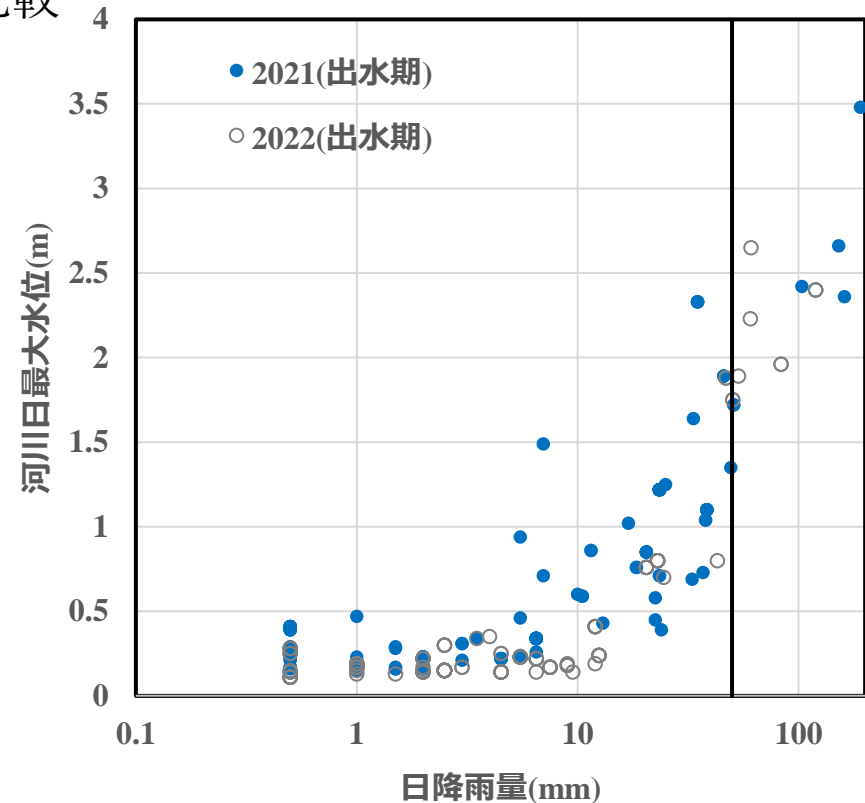
黒瀬川下見水位観測所で観測された河川日最大水位で検討

# 結果・考察（河川流入量の考慮）

出水期における日降雨量と河川日最大水位を比較

日降雨量50mmを閾値として河川流入量に年変動がみられる

地下水位が高いほど半減期が小さくなり  
 山体からの流入量が増加する可能性  
 降雨流出を検討するには岩盤内地下水位  
 の長期的な変動成分を考慮する必要がある



データ：下見水位観測所(黒瀬川)

年降水量

2021年：1944mm

2022年：1138.5mm

# 結論・今後の課題

## 結論

- ・ 山頂と中腹，表層で半減期と遅れ時間は大きな差がある
- ・ 山頂での観測結果から岩盤内地下水の挙動には年次的な変化があり水位予測においては定数を用いて表現することができない
- ・ 地表から地下水面までの距離が岩盤地下水の挙動に関係しており，実効雨量の半減期・遅れ時間を変数とすることで水位予測モデルにおける再現性の向上を実現
- ・ 山体からの河川流入量予測の可能性を示した

## 今後の課題

- ・ 地下水面までの距離と雨水浸透量や減衰過程の逓減係数の関係を観測から調べ，再現性を向上させる
- ・ 新たな観測対象にて，挙動特性が近いものになっているかを見る（水位上昇幅など）