

2014年・2018年の広島での土石流災害の
発生要因とその予測・対策
～2022年度 京都大学防災研究所 公開講座～

京都大学防災研究所 竹林洋史

矢野東・梅河団地の土石流数値シミュレーション

背景：国土地理院



Depth

0.1 0.00 0.800 1.50 2.20 2.90 3.60 4.30 5.0





**2014年に発生した
広島市安佐南区八木三丁目の土石流災害**



広島市安佐南区八木三丁目

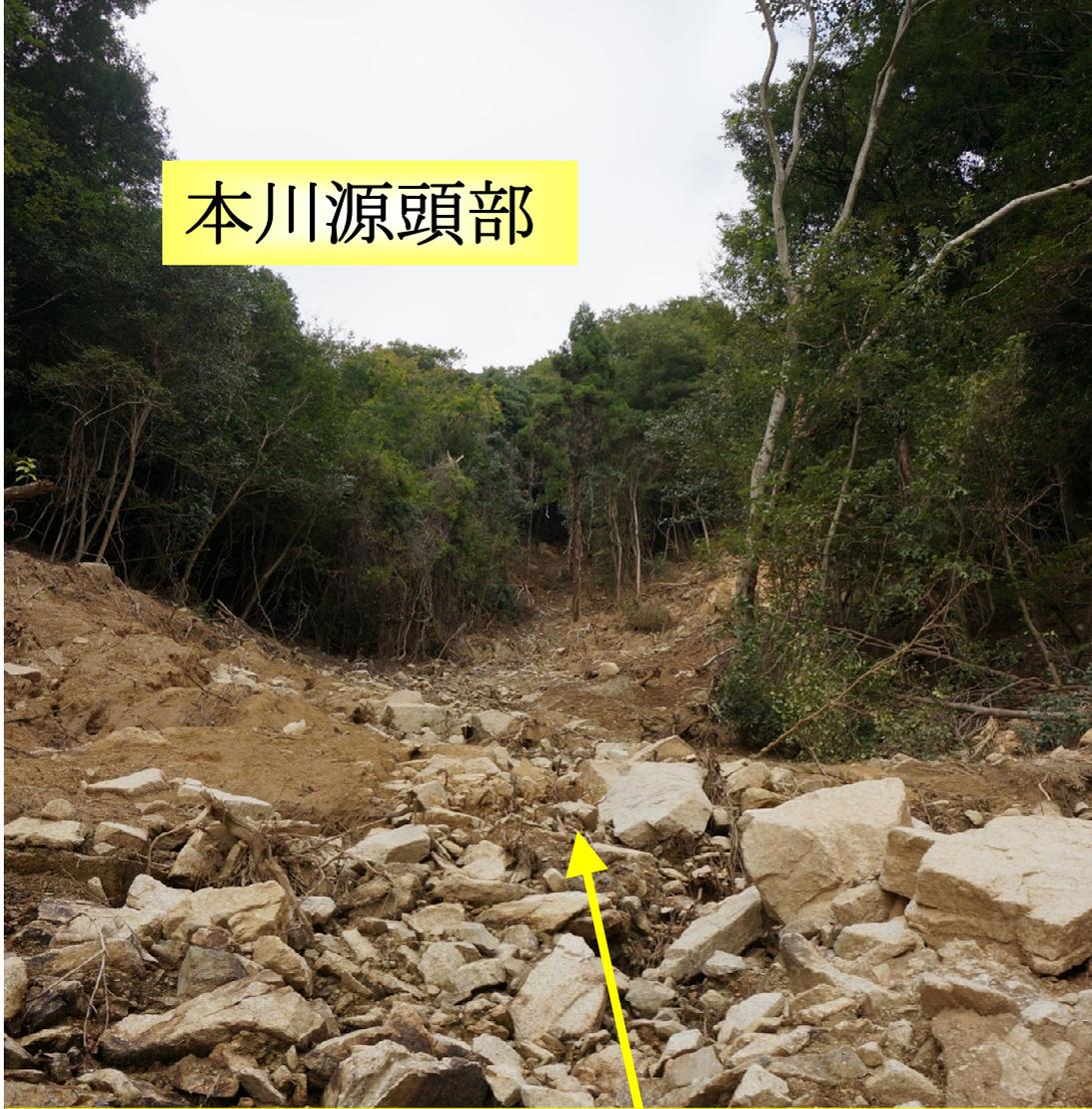


八木三丁目



背景：Google Earth

本川源頭部



住宅地

ルーチェサーチ撮影（2014年8月25日）



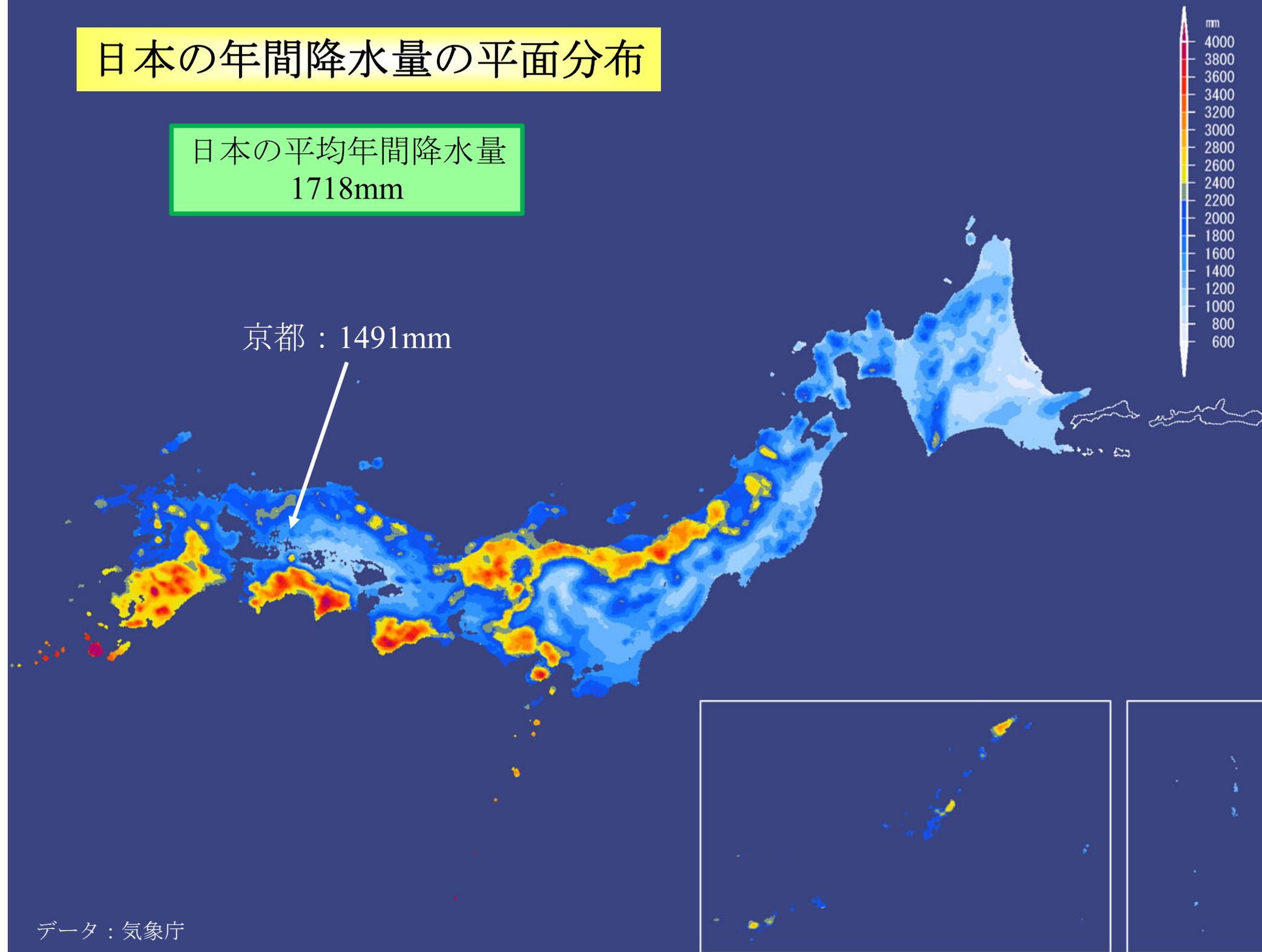
住宅地



日本の年間降水量の平面分布

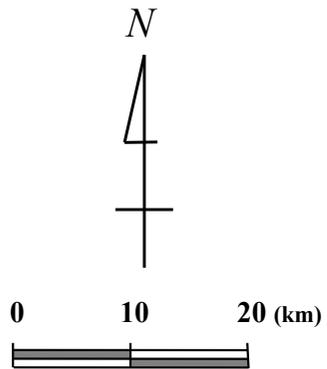
日本の平均年間降水量
1718mm

京都：1491mm

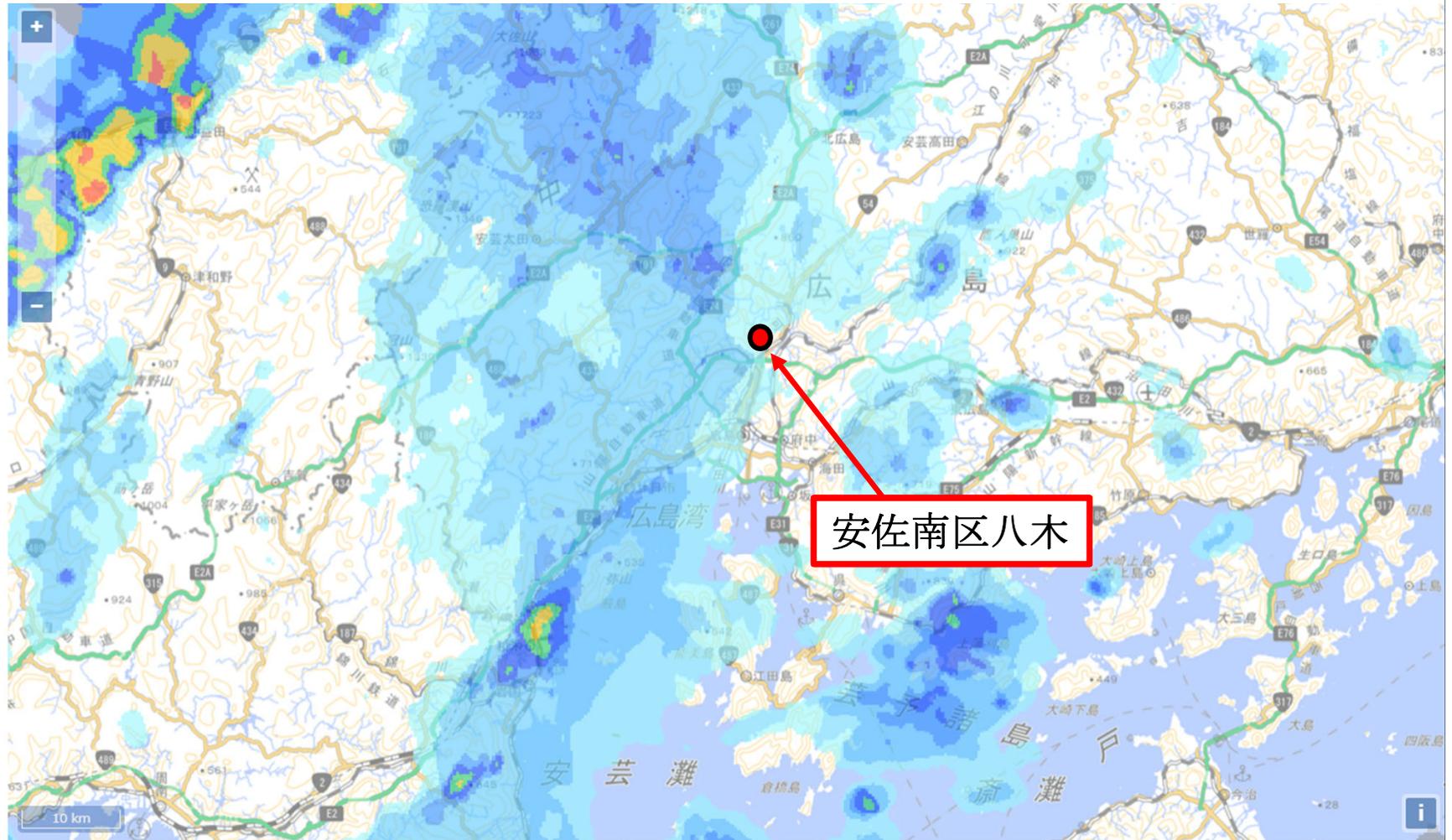
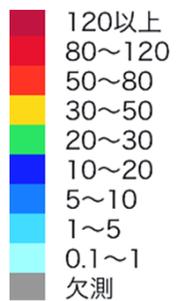


CXレーダーによる降雨強度

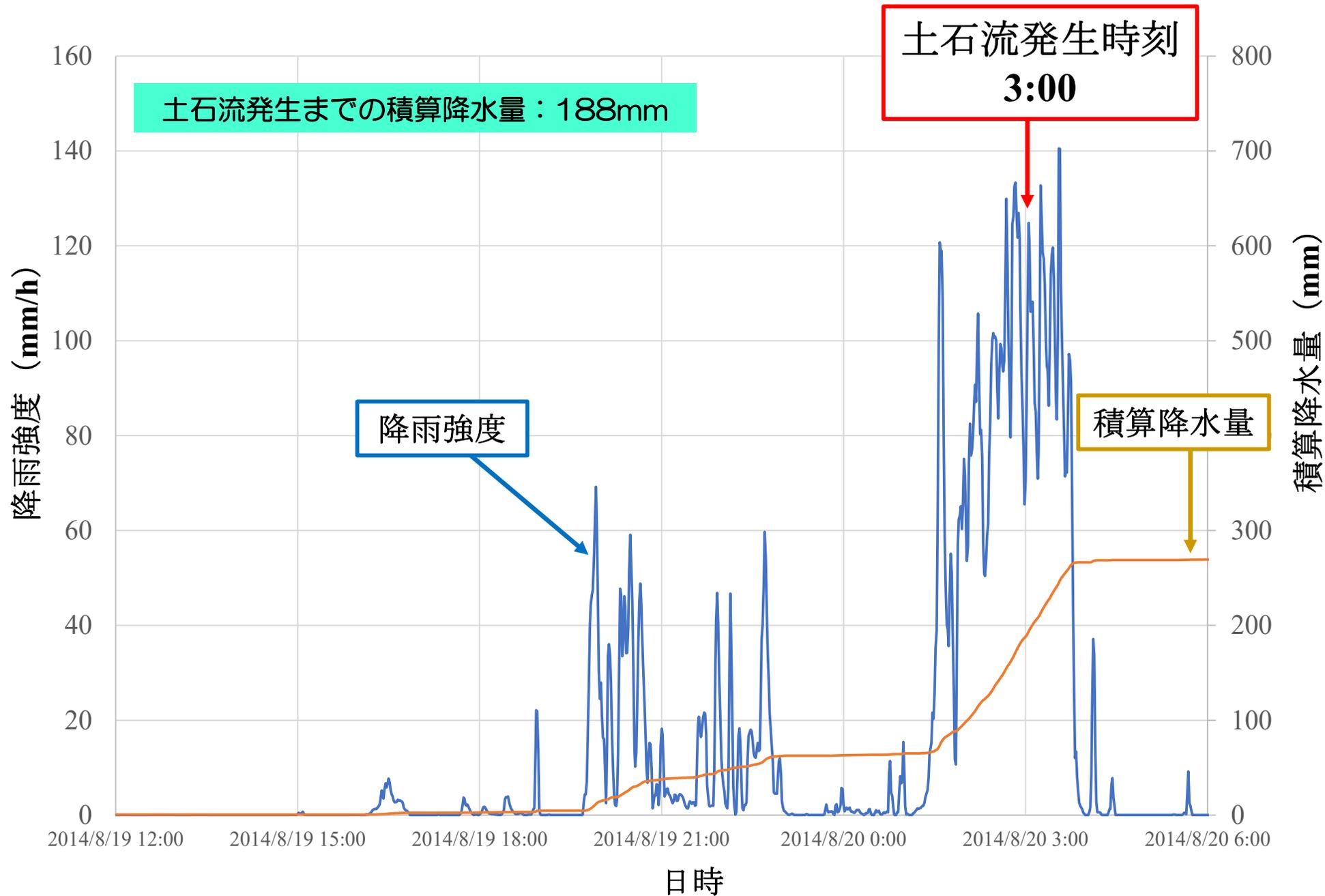
2014/08/19 18:00



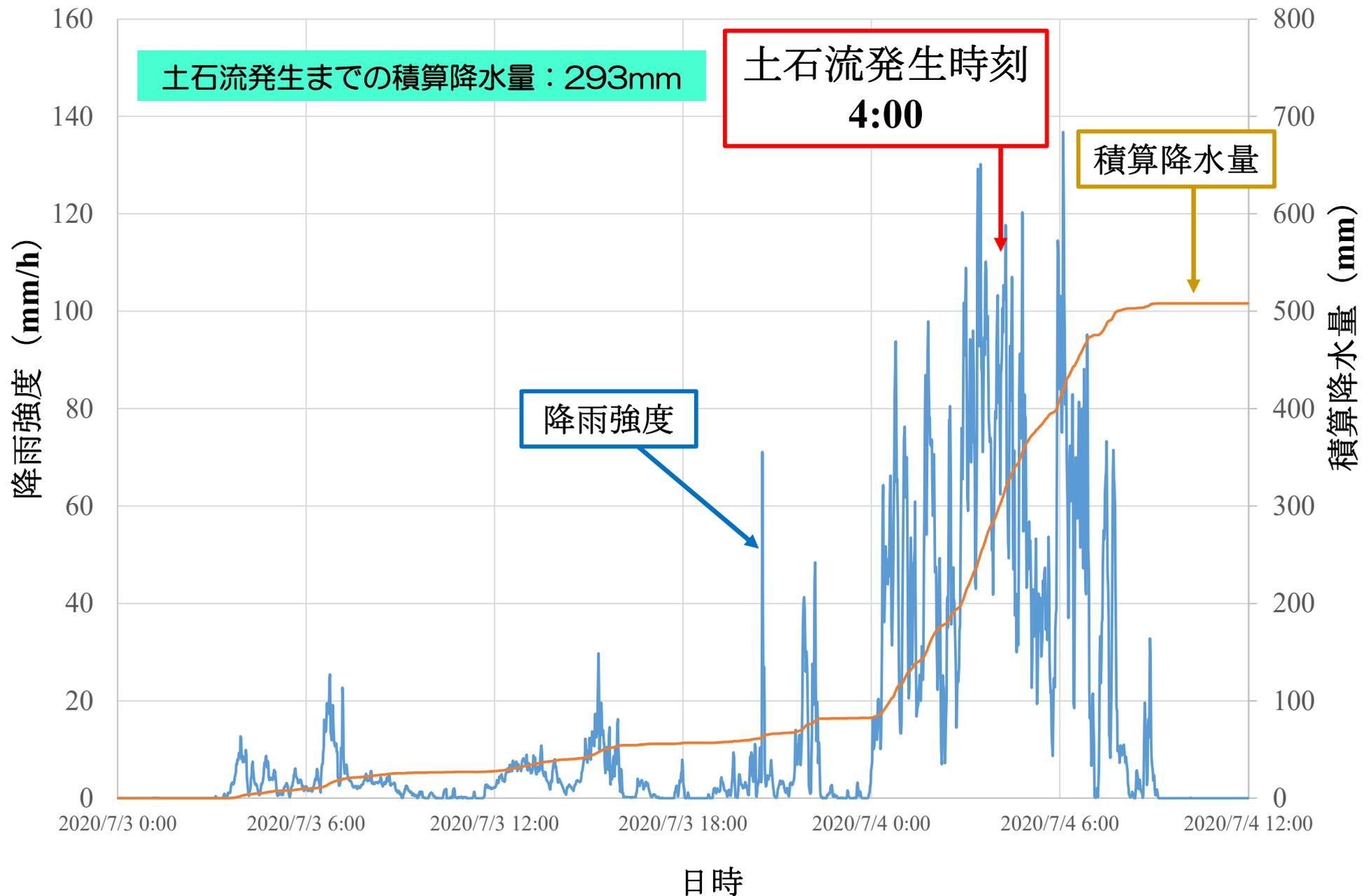
降雨強度
(mm/h)



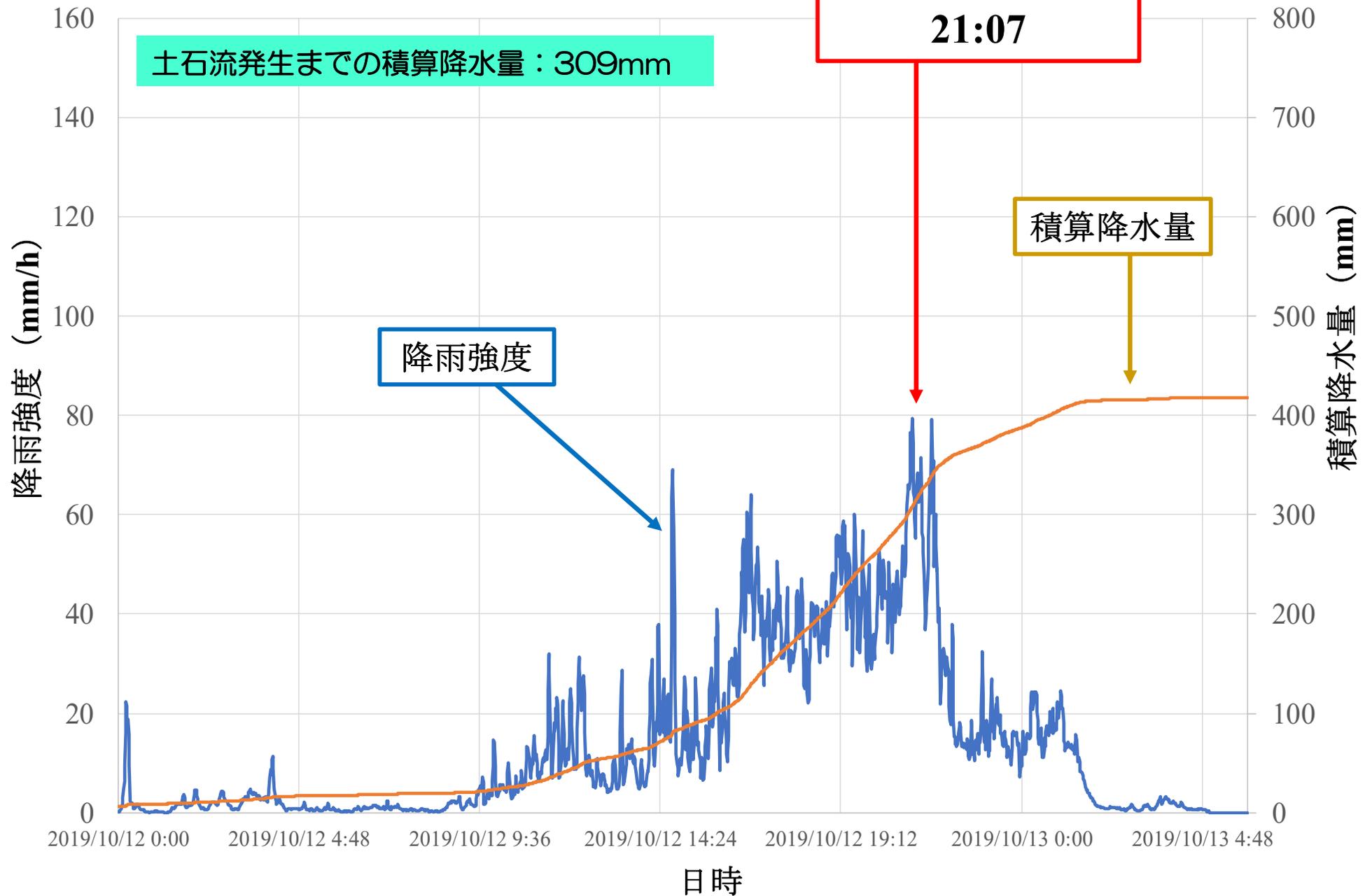
広島市安佐南区八木三丁目の降雨強度 (2014年8月19日18時～20日6時)



熊本県津奈木町福浜の降雨強度 (2020年7月3日0時～4日正午)



宮城県丸森町子安の降雨強度 (2019年10月12日0時～13日午前6時)

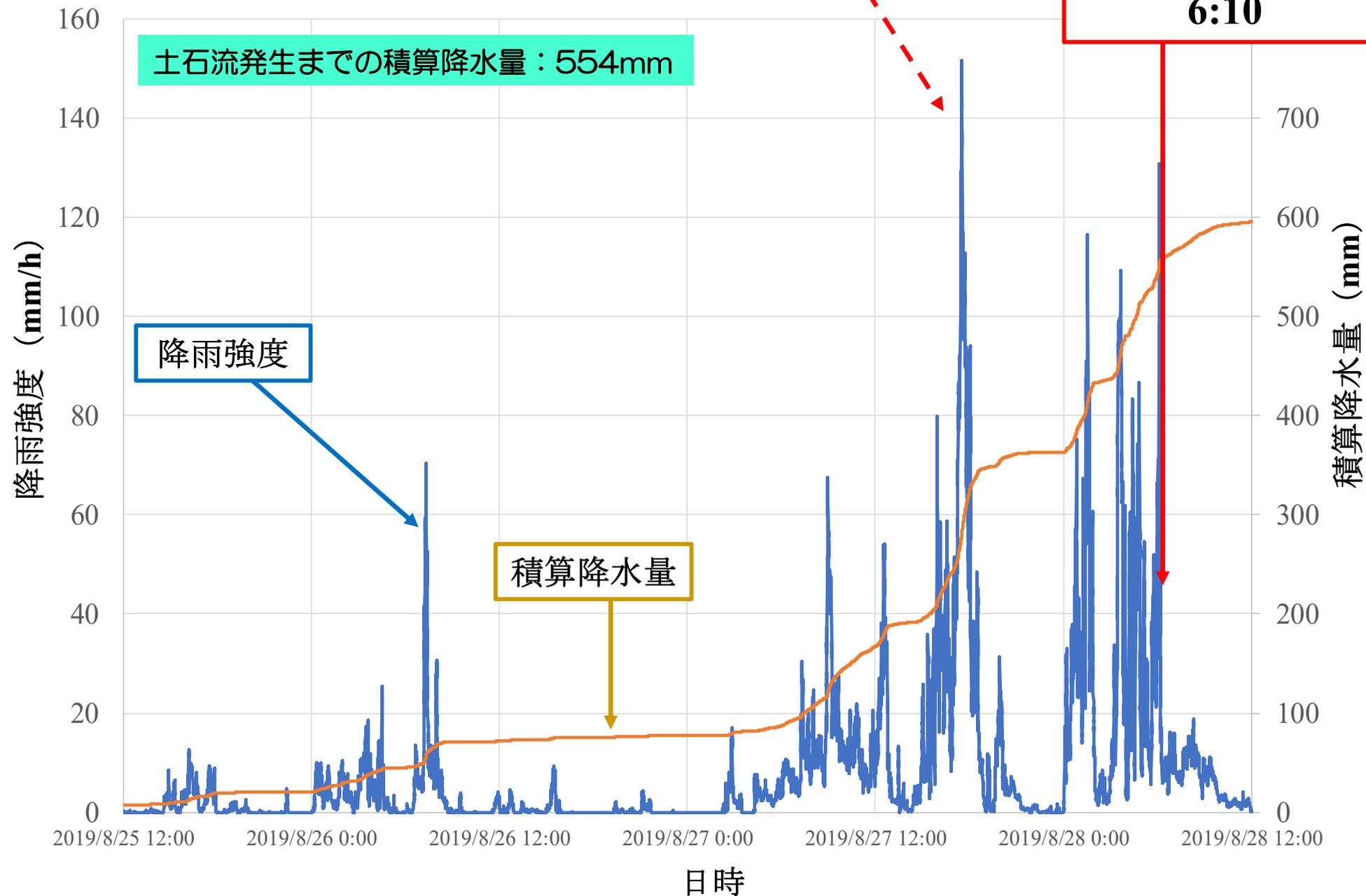


佐賀市金立の降雨強度 (2019年8月25日正午～28日正午)

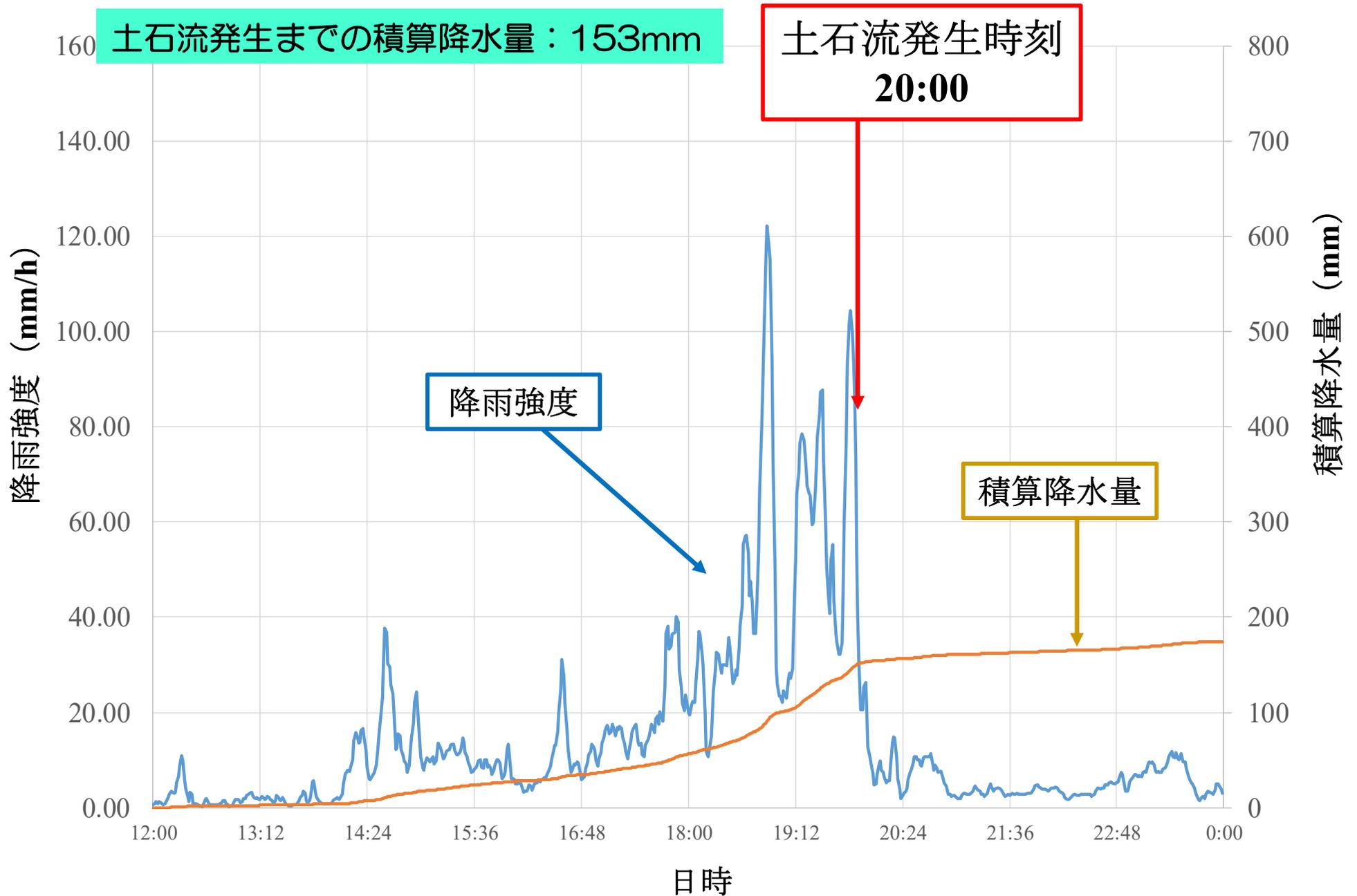
既に土石流発生？

土石流発生時刻

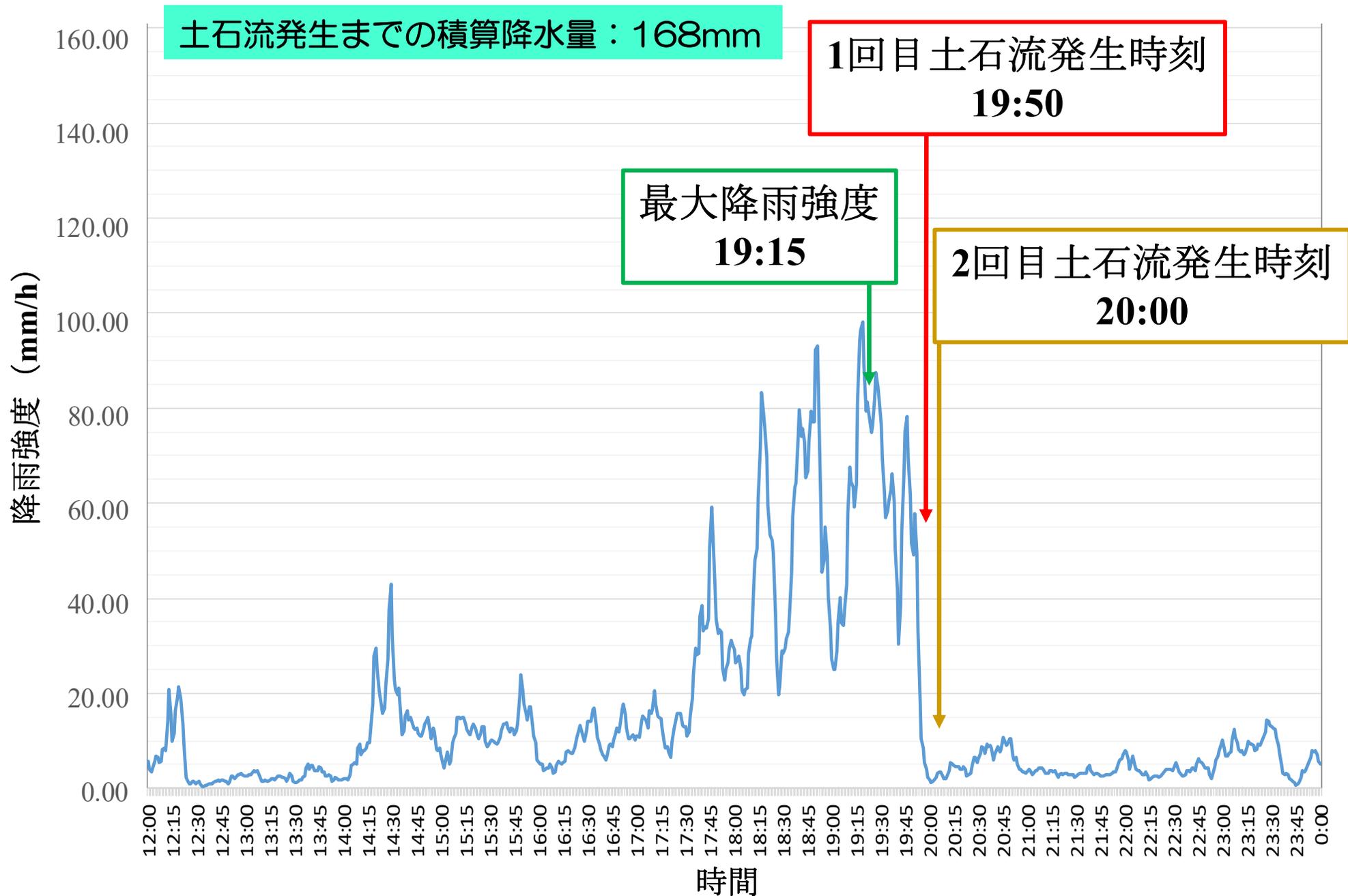
6:10



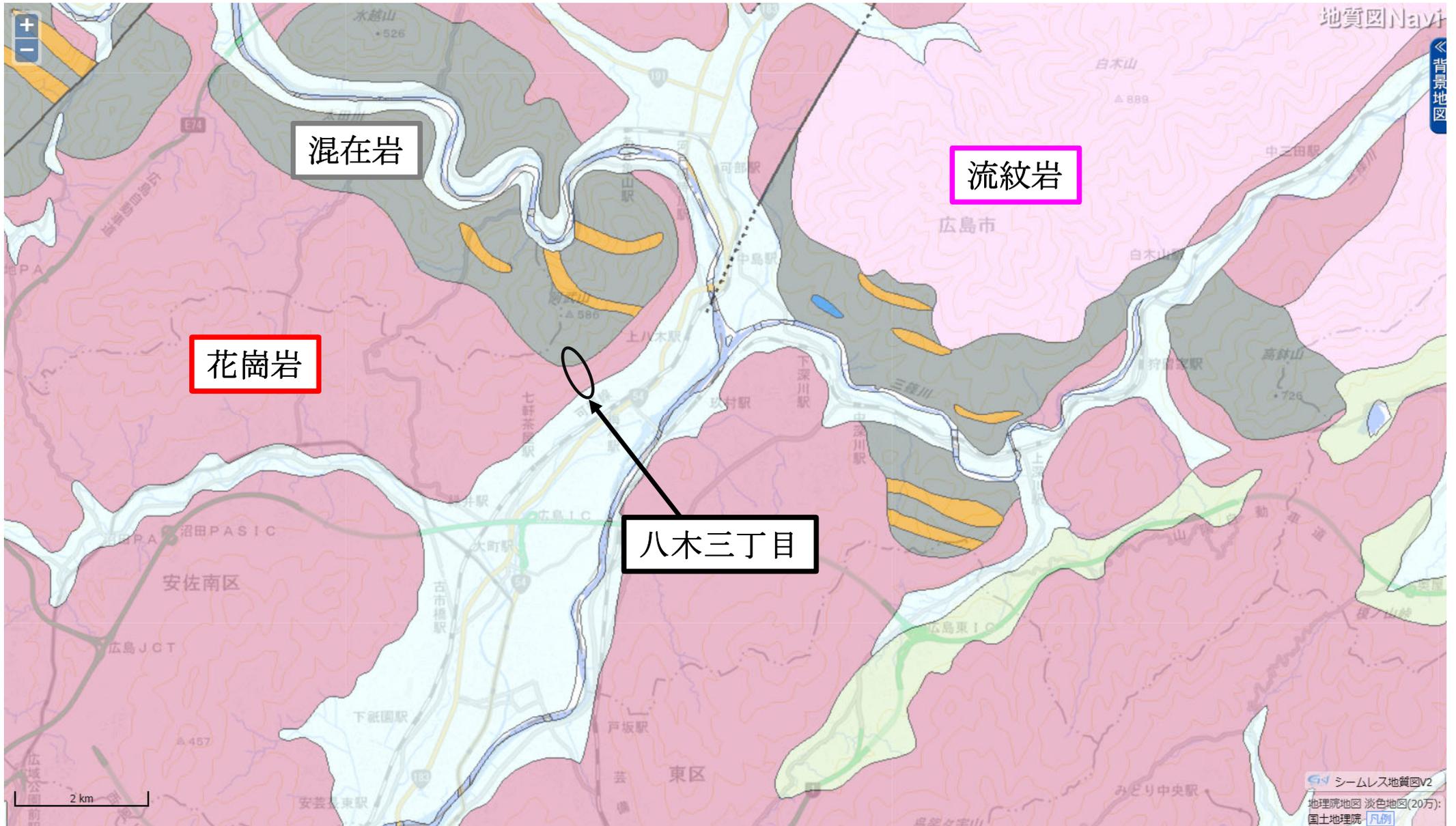
広島県安芸郡熊野町川角の降雨強度 (2018年7月6日正午～24時)



広島市安芸区矢野東の降雨強度 (2018年7月6日正午～24時)



地質



解析条件

地形データ：

国土交通省による平成21年度
1mDEMデータ（被災前の地形
データ）

流域面積：約0.4km²

解析格子：

2m×2m

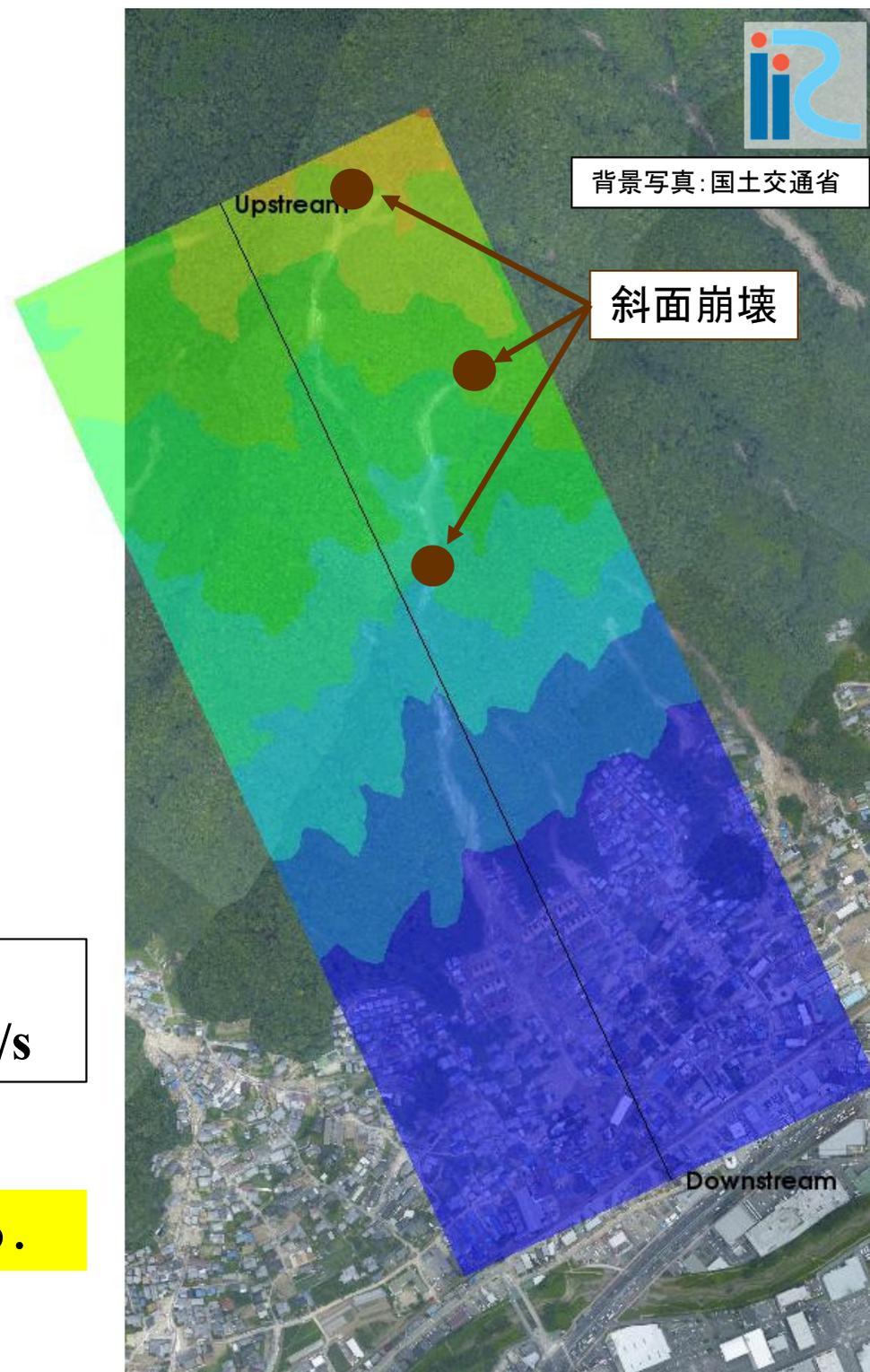
Case 1：家屋考慮

Case 2：家屋無し

合理式によるピーク流量：約9m³/s
土石流のピーク流量：約500m³/s



表面流による水の供給は無視できる。



基礎方程式

質量保存則

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*}$$
$$\frac{\partial \bar{c}h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c}hU}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c}hV}{\partial y} = E$$

水と土砂の混合物の深さ

水と土砂の混合物の
流動深平均の流速

地盤の浸食速度

運動量保存則

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m}$$
$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m}$$

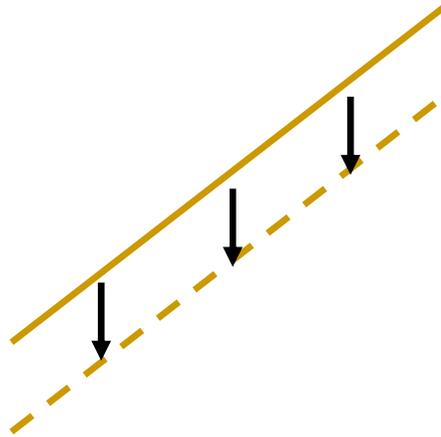
河床位方程式

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*}$$

浸食速度

浸食速度式

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* \tan(\theta - \theta_e)$$



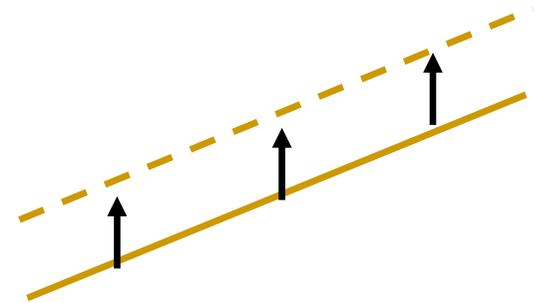
$$\tan\theta > \tan\theta_e$$

(a) 浸食



$$\tan\theta = \tan\theta_e$$

(b) 地盤高さ変動無し



$$\tan\theta < \tan\theta_e$$

(c) 堆積

平衡勾配

$$\tan\theta_e = \frac{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{-c}}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{-c+1}} \frac{h_s}{h} \tan\phi_s$$

構成則

固体

流動

せん断応力

$$\tau_{bx} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$
$$\tau_{by} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

降伏応力

$$\tau_y = \left(\frac{\bar{c}}{c_*} \right)^{\frac{1}{n}} (\sigma - \rho) \bar{c} g h_s \cos \theta \tan \phi_s \quad (\text{層流域})$$

摩擦係数

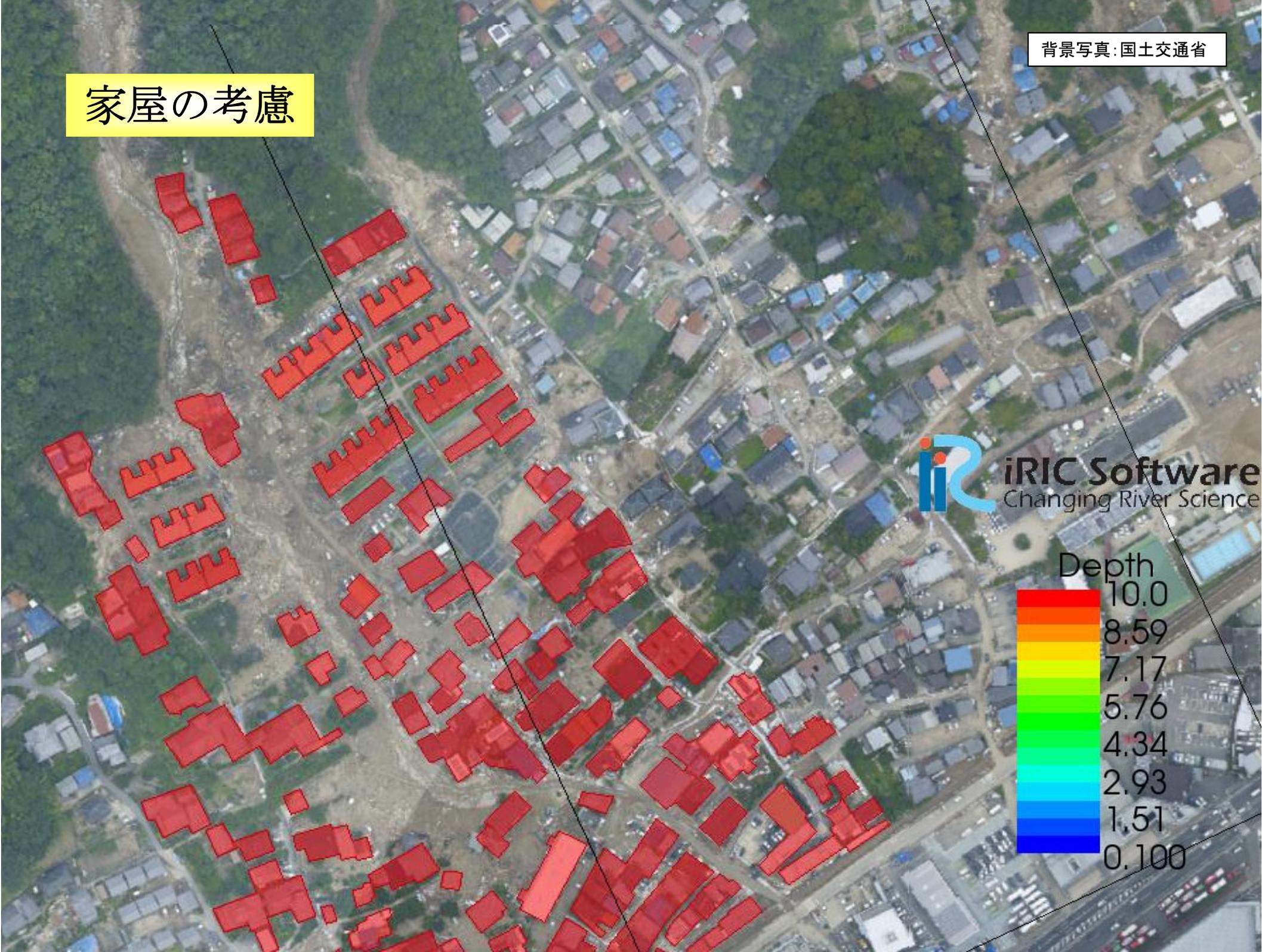
$$f_b = \frac{4}{25} \left\{ k_f \frac{(1 - \bar{c})^{\frac{5}{3}}}{\bar{c}^{\frac{2}{3}}} + k_d \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) \bar{c}^{-\frac{1}{3}} \right\} \left(\frac{h_s}{d} \right)^{-2} \quad (\text{層流域})$$

土砂粒子間の流体の乱れ

土砂粒子の非弾性衝突

$$f_b = \frac{C_{mu}}{8} \alpha^2 \left(1 - \frac{h_s}{h} \right) \quad \alpha = \kappa/6 \quad (\text{乱流域})$$

家屋の考慮



iRIC Software
Changing River Science

Case 1 (流動層厚)

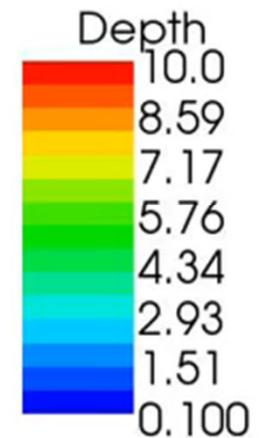
背景写真: 国土交通

表層崩壊による生産土砂量
2000m³~3000m³

住宅街に流れ込んだ土砂量
34000m³

本川源頭部から宅地
までの到達時間 : 96秒
平均速度 : 9m/s
宅地流入時の速度 : 8m/s

 **iRIC Software**
Changing River Science



単位 : m



Time: 0 sec



背景写真: 国土交通省

単位: m

氾濫範囲の比較

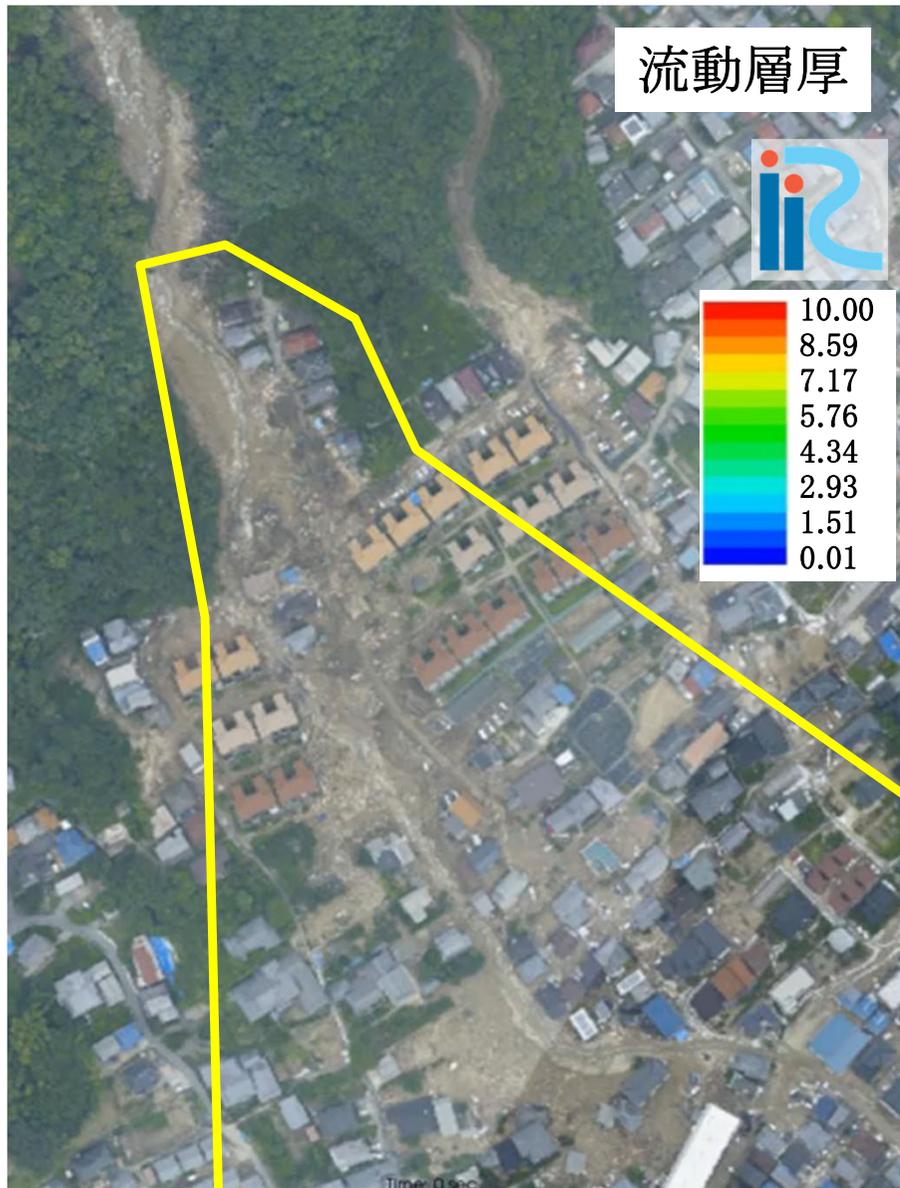


Time: 0 sec

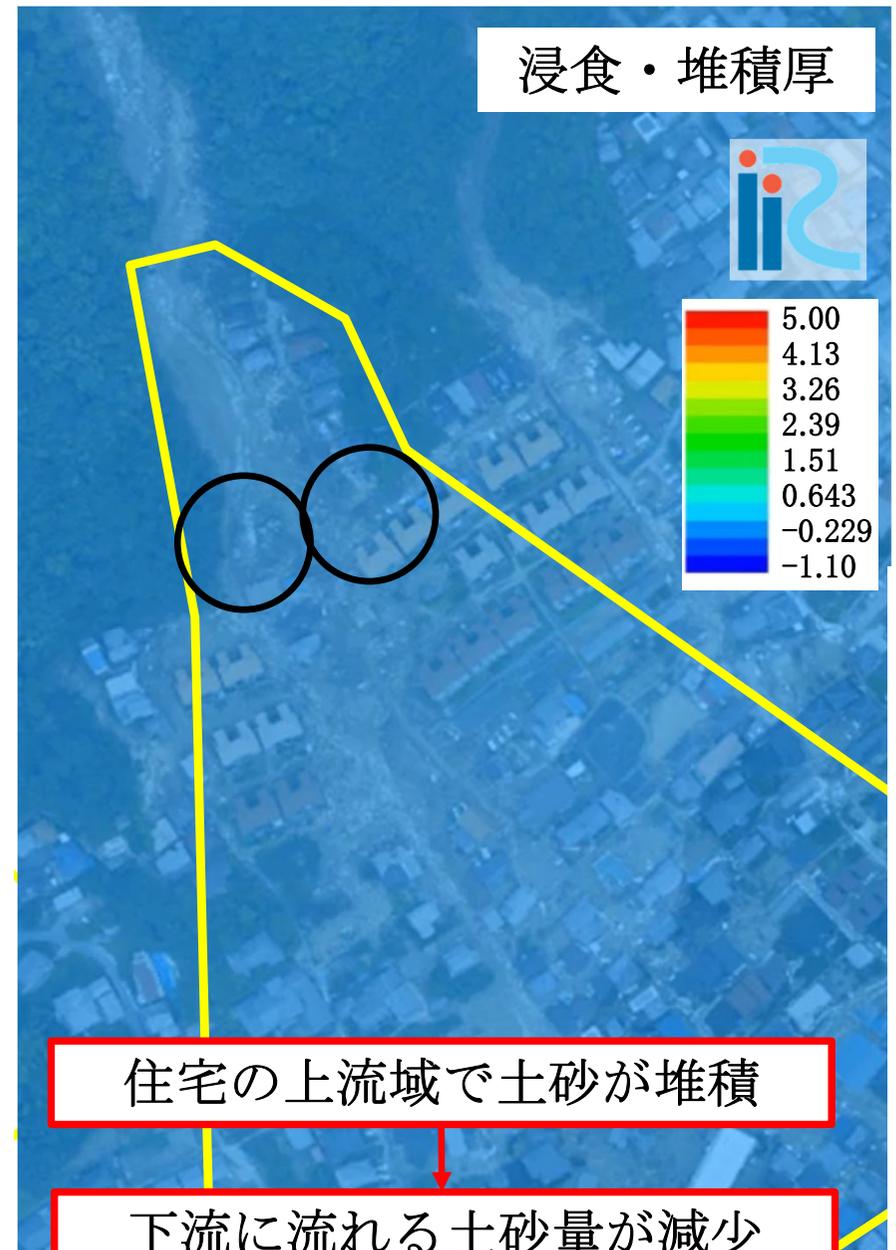
Case 1 (家屋の影響)

背景写真: 国土交通省

単位: m



宅地と宅地の間の道路で深くなる



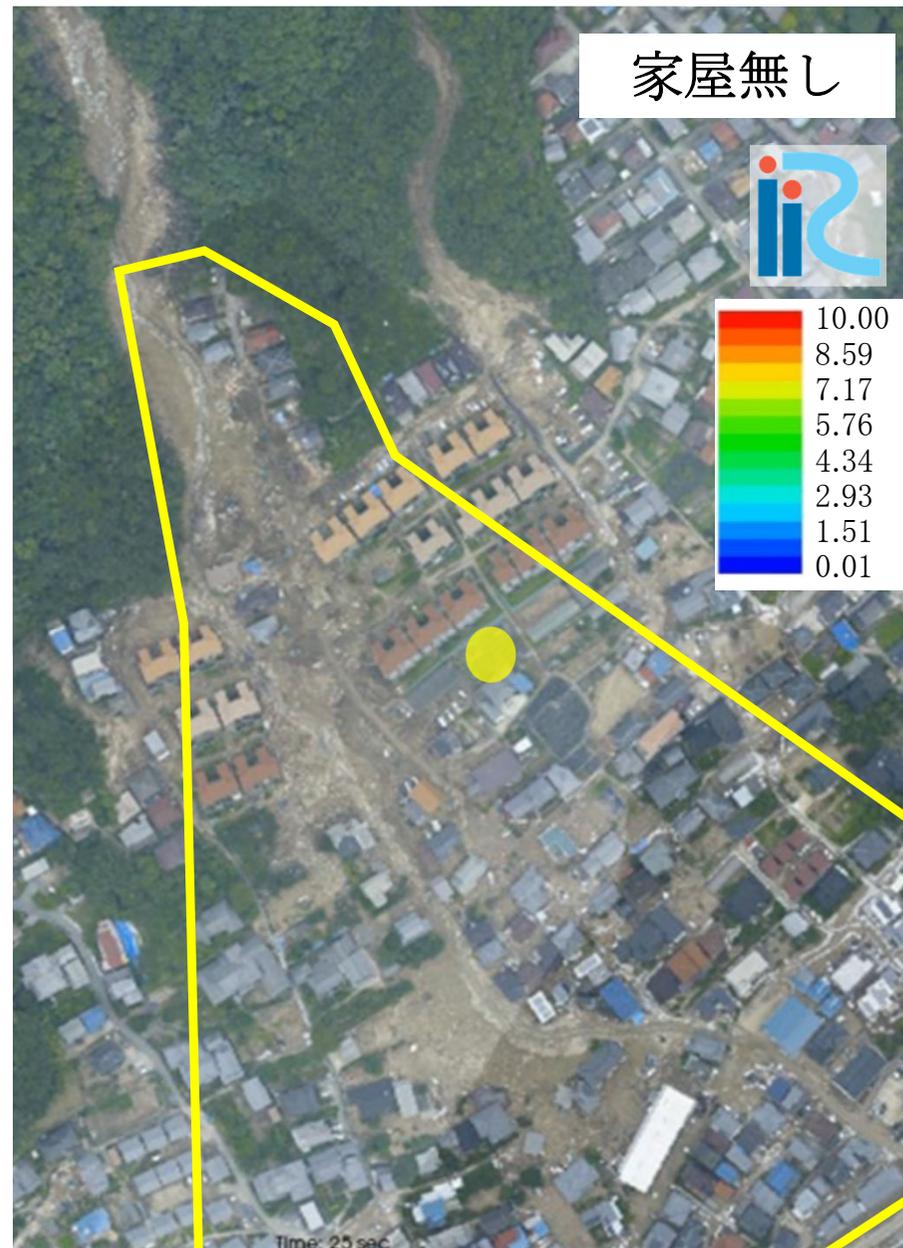
住宅の上流域で土砂が堆積

下流に流れる土砂量が減少

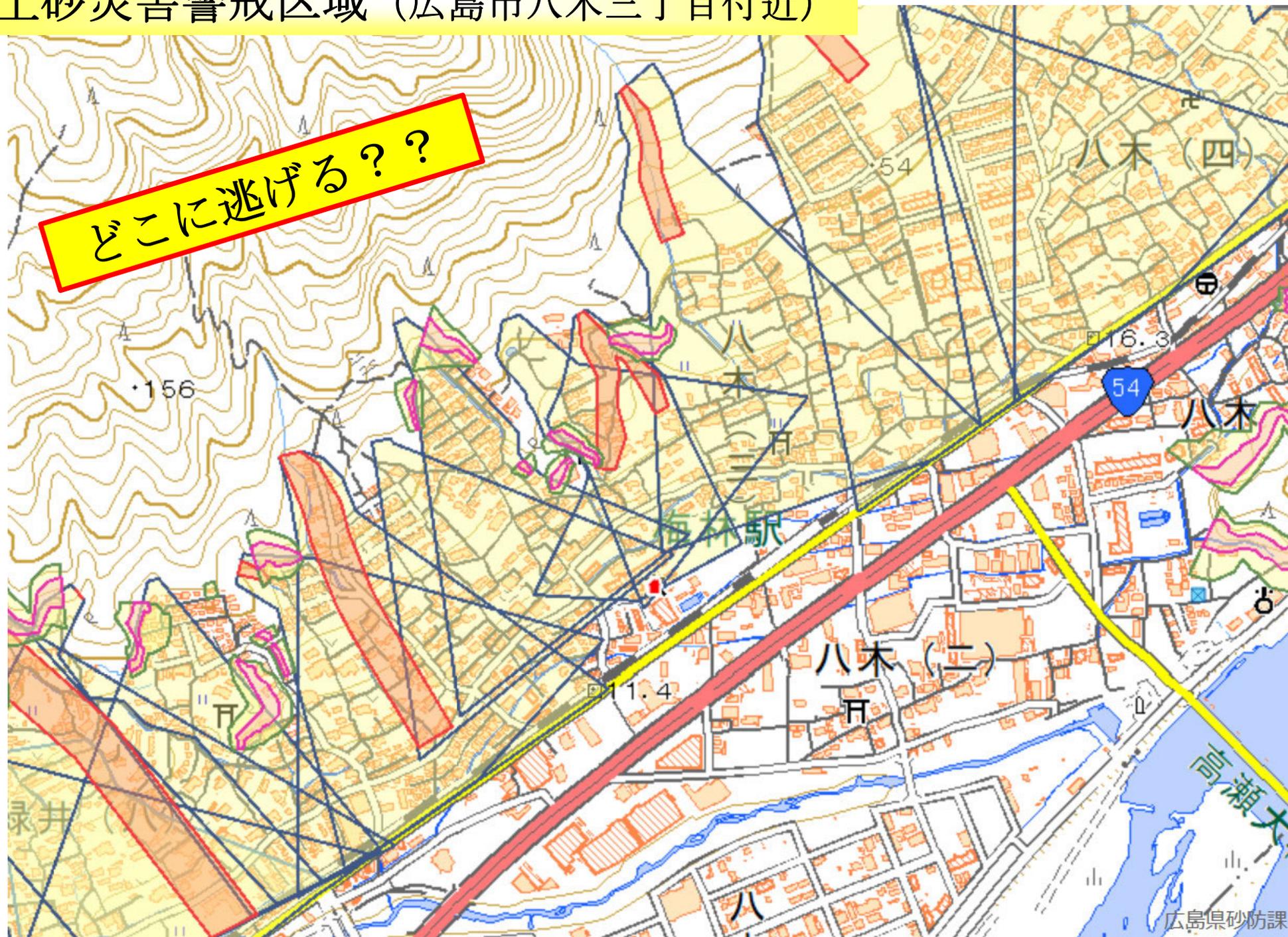
家屋の影響（流動層厚）

背景写真：国土交通省

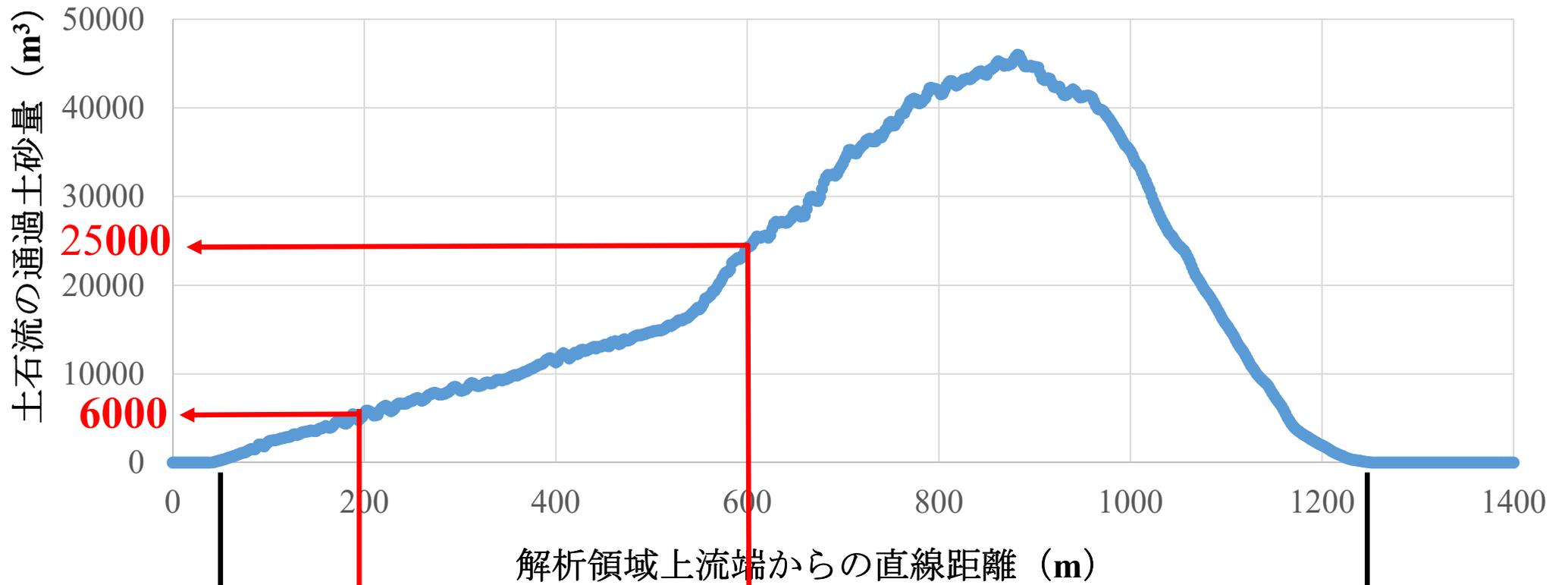
単位：m



土砂災害警戒区域 (広島市八木三丁目付近)

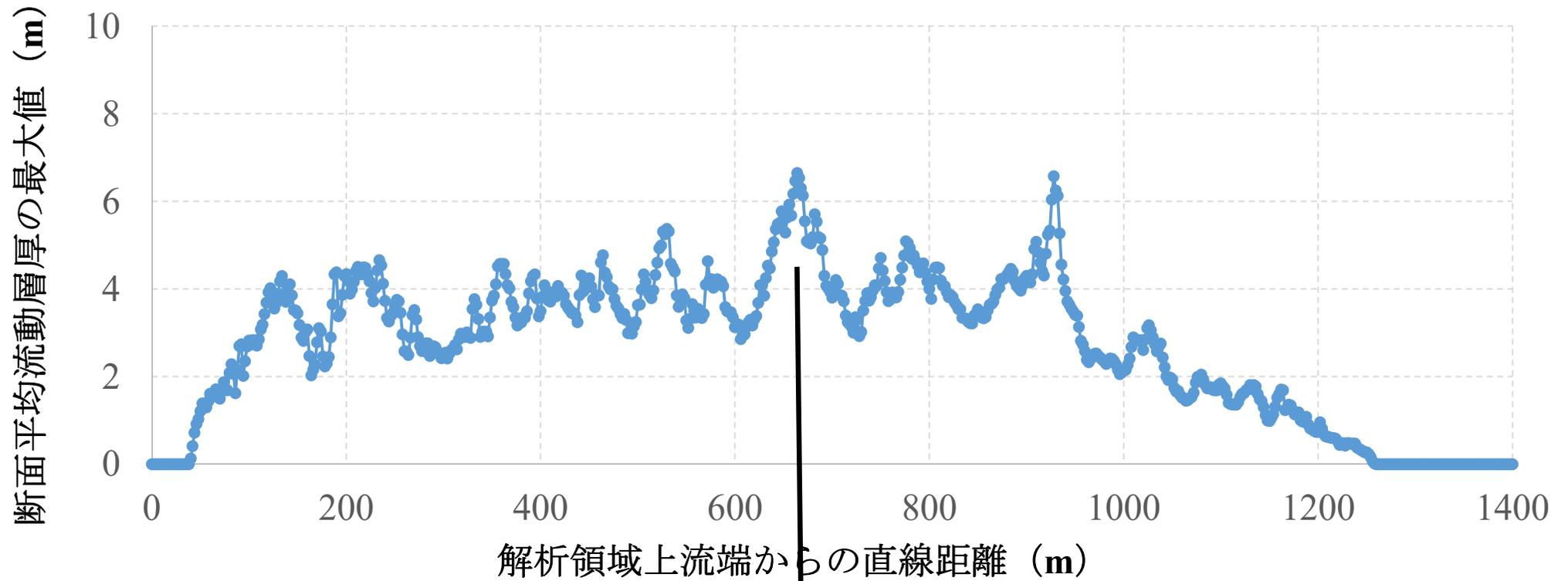


土石流の通過土砂量の縦断分布

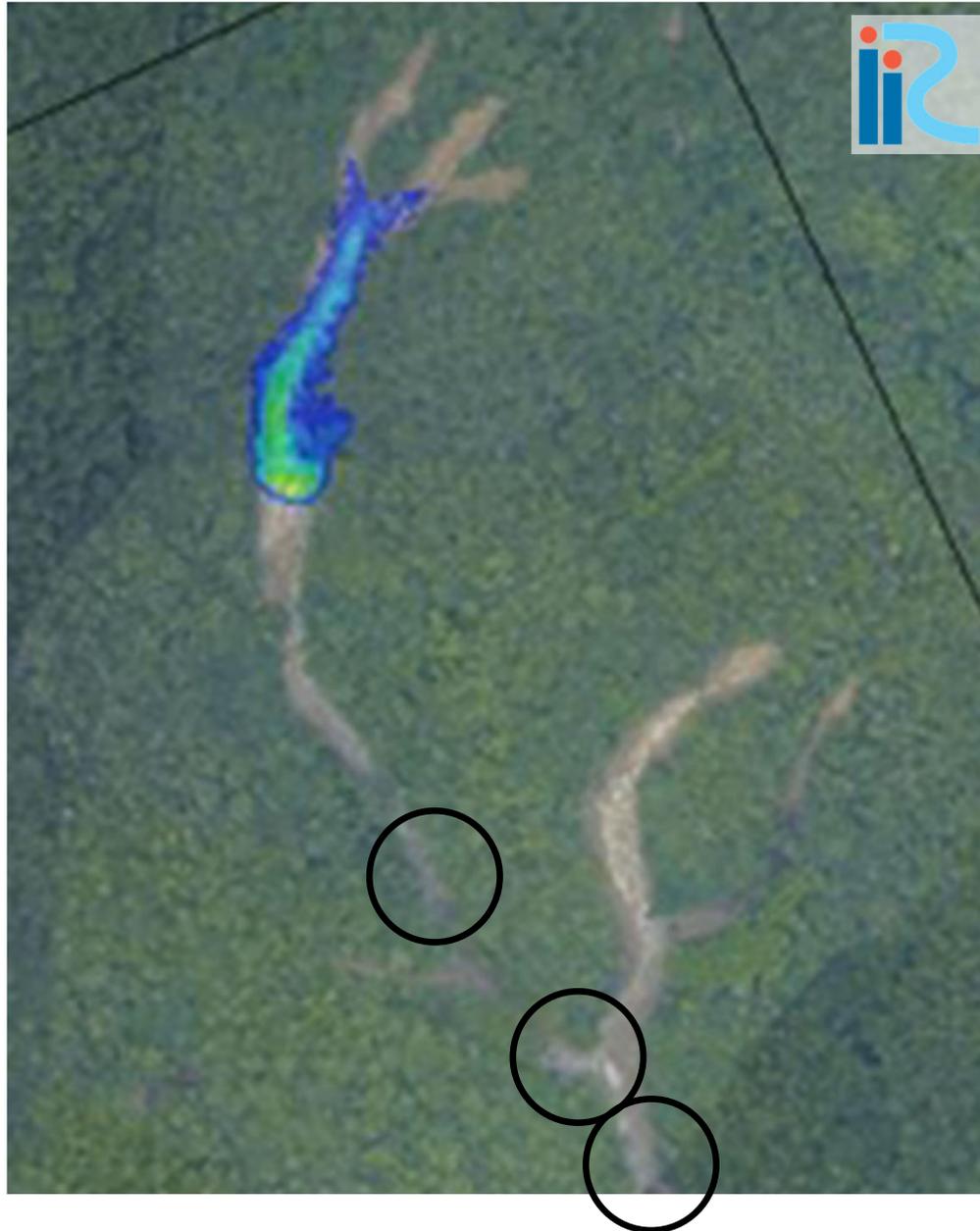


背景写真: 国土交通省

Case 1 (断面平均流動層厚の最大値)



Case 1 (流動層厚)



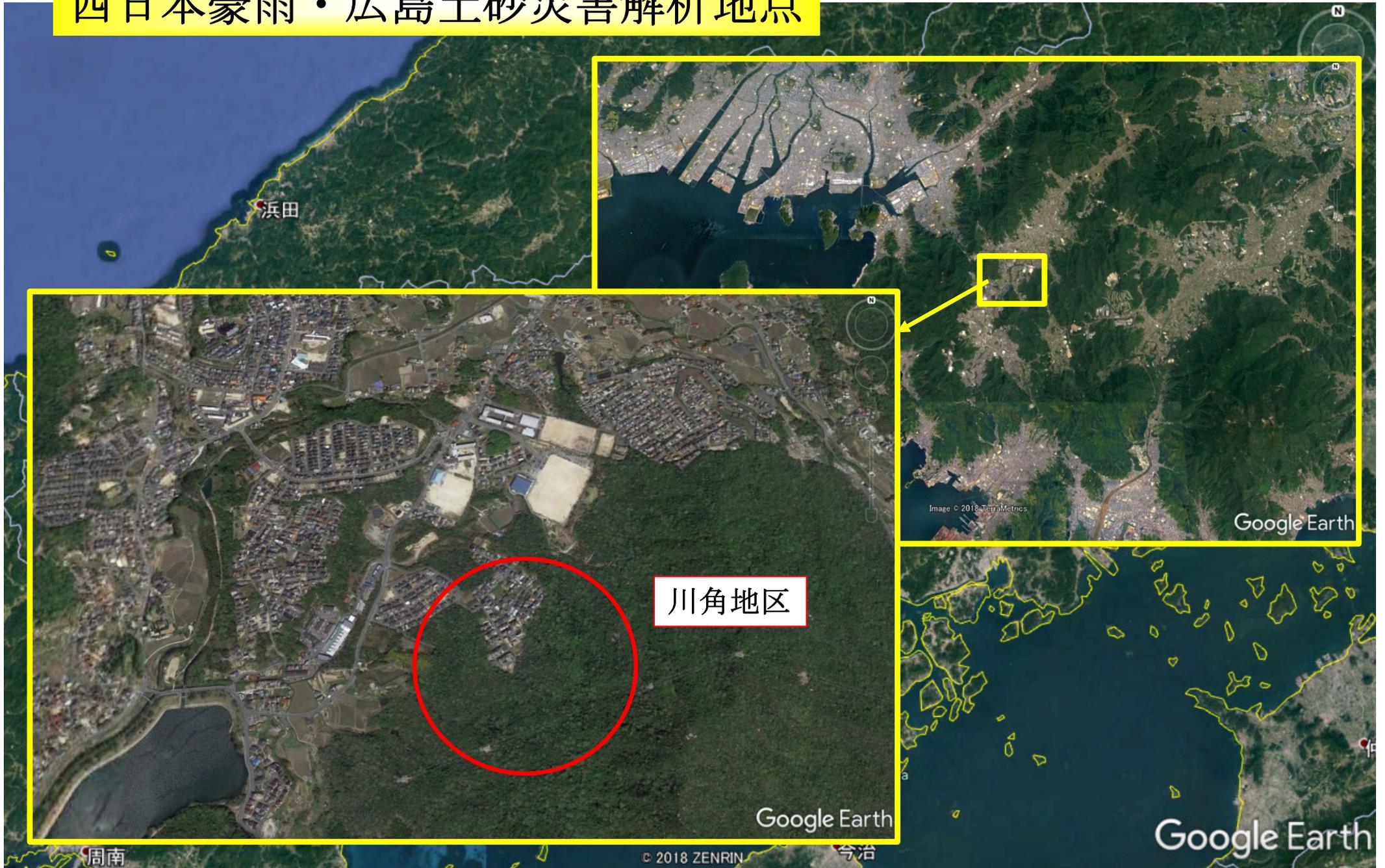
ステップ状の地形



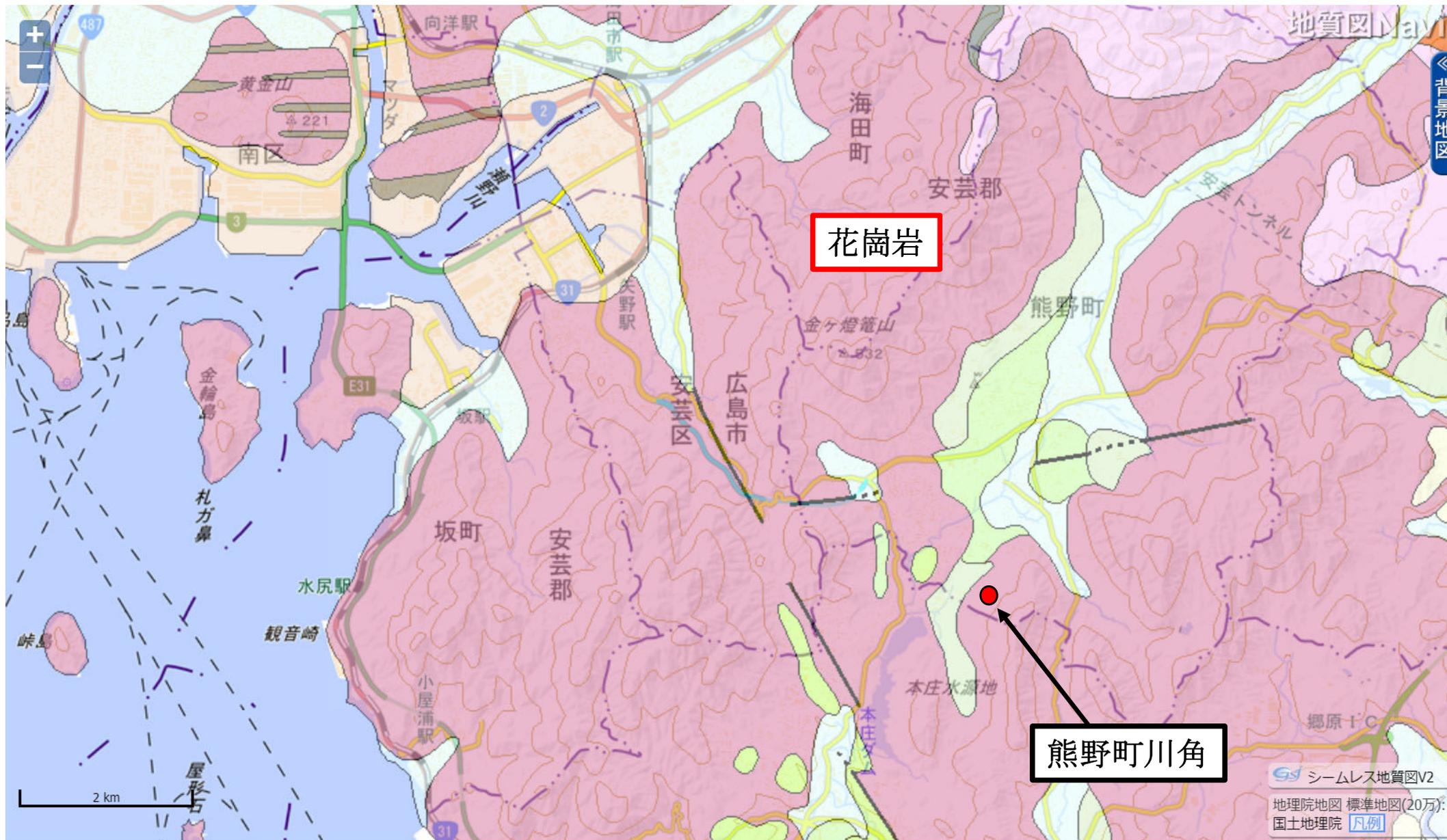


**2018年7月に広島県安芸郡熊野町川角と
広島市安佐北区口田南で発生した
土石流の流動特性**

西日本豪雨・広島土砂災害解析地点



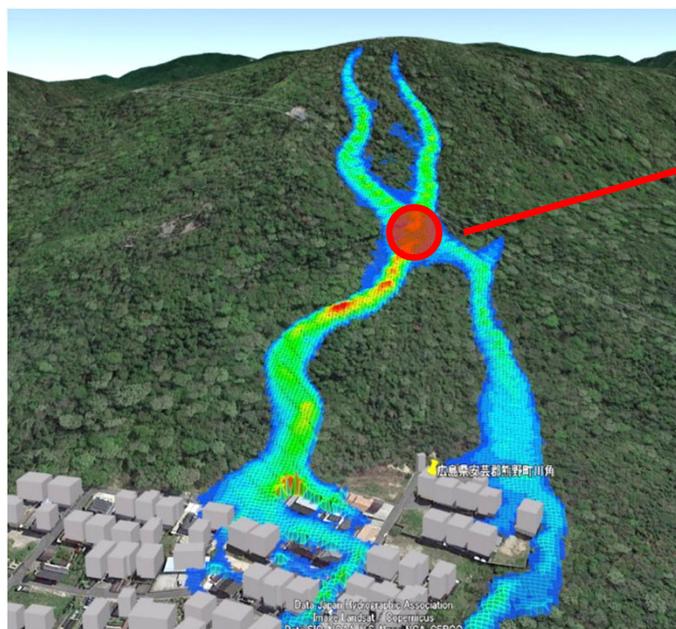
地質



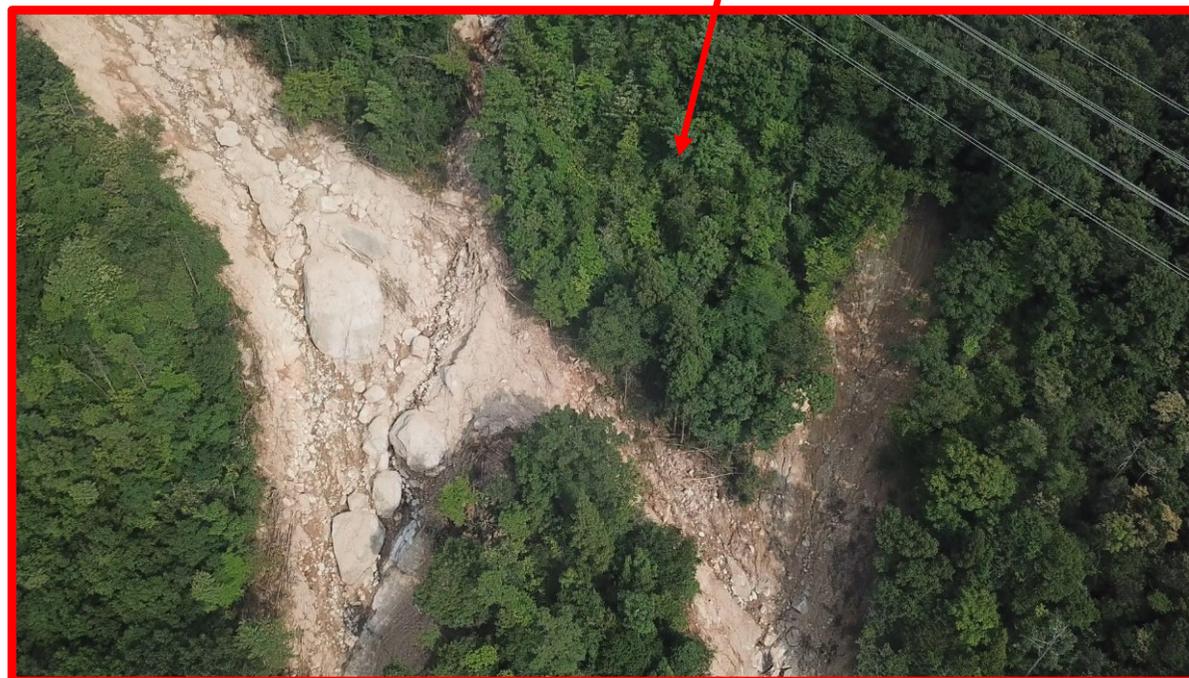
広島県安芸郡熊野町川角



広島県安芸郡熊野町川角



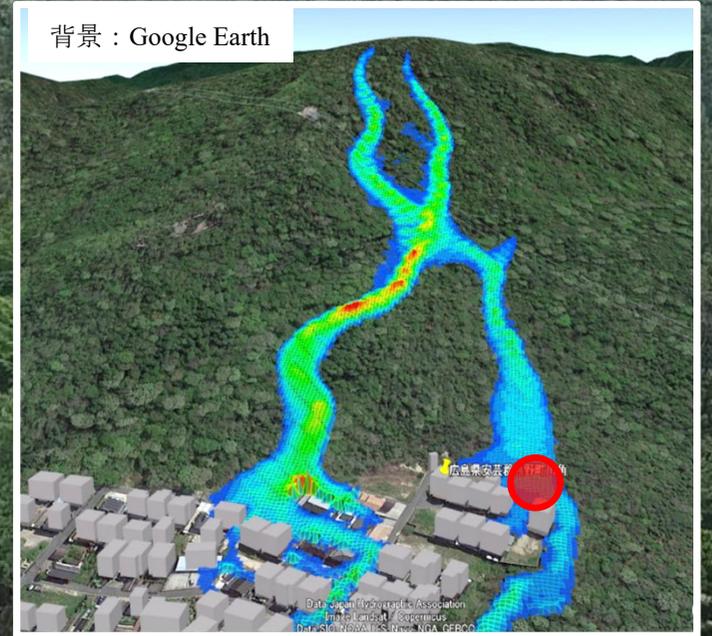
背景：Google Earth



広島県安芸郡熊野町川角

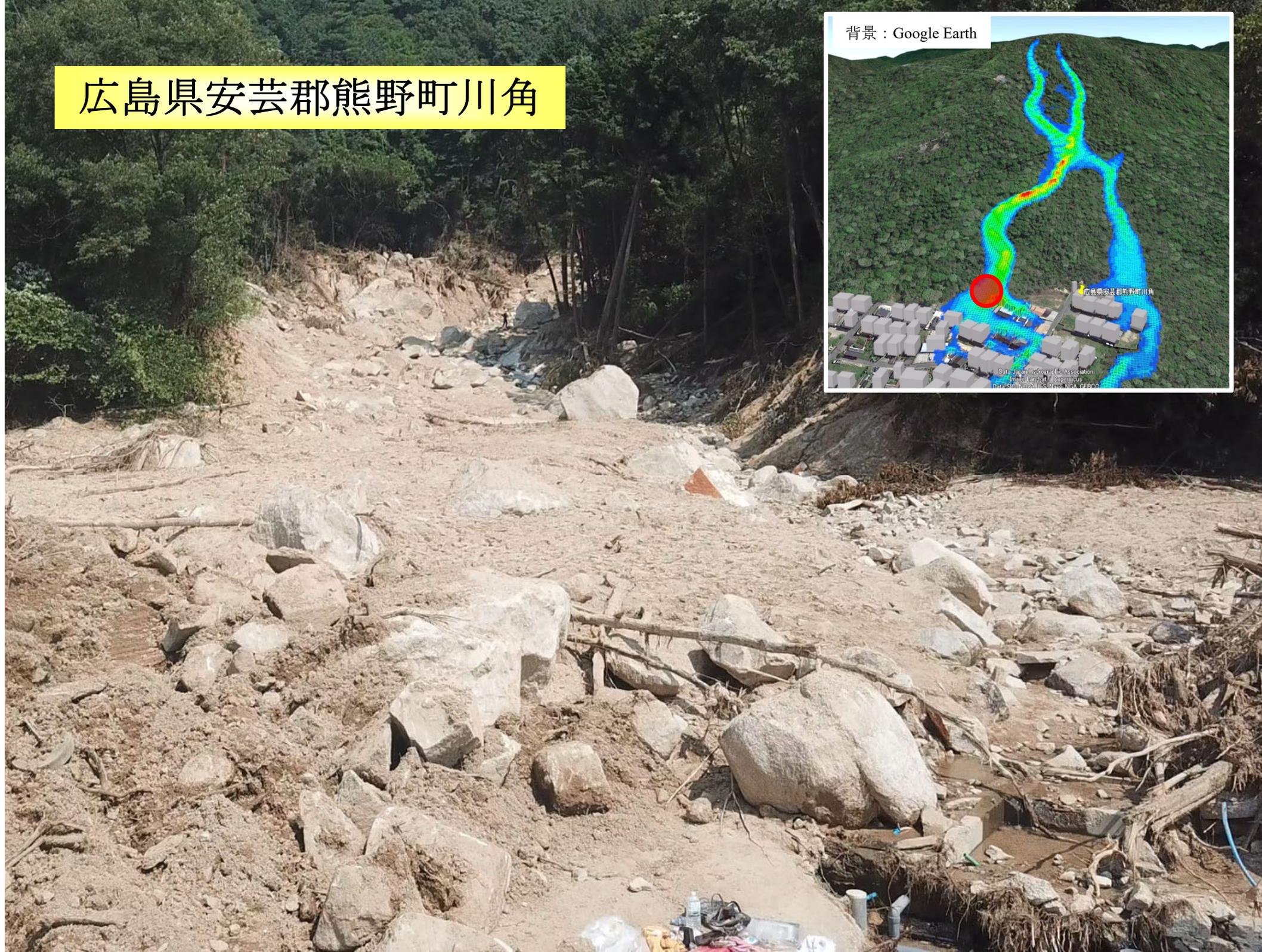
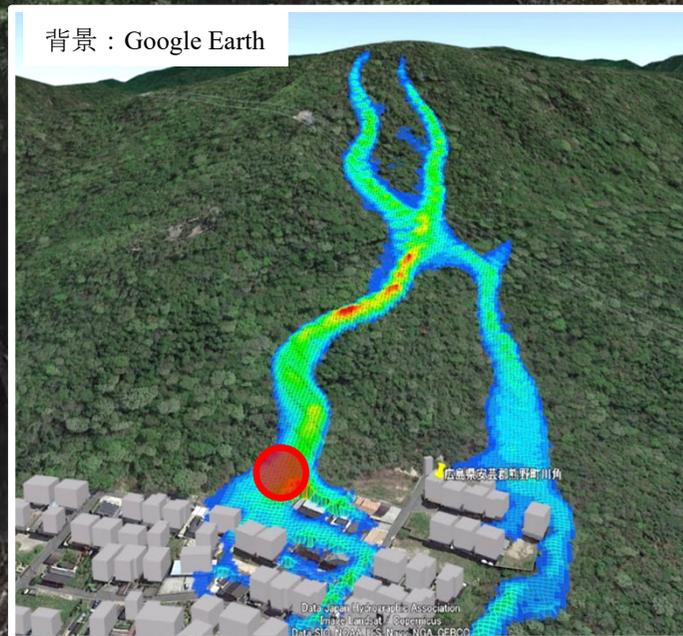


背景：Google Earth



広島県安芸郡熊野町川角

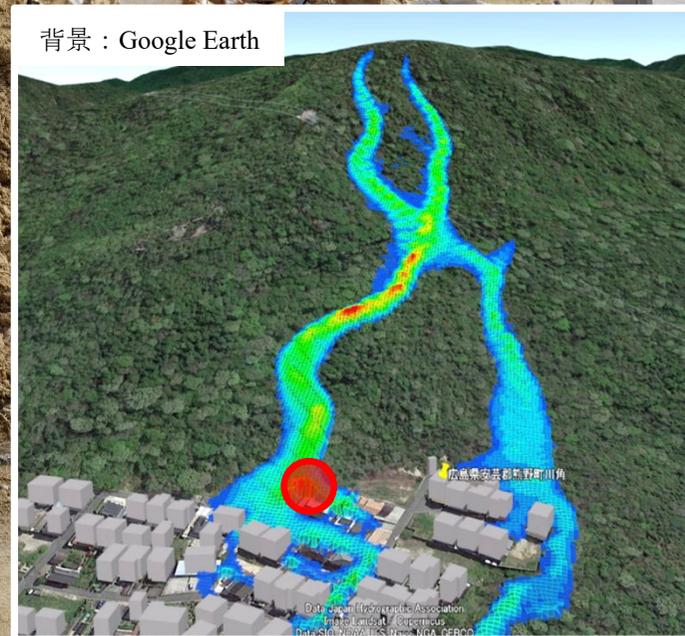
背景：Google Earth



広島県安芸郡熊野町川角



背景 : Google Earth



広島県安芸郡熊野町川角

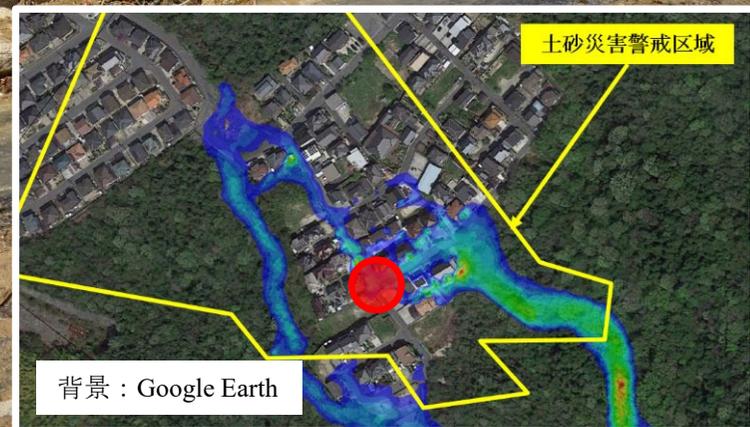
土砂



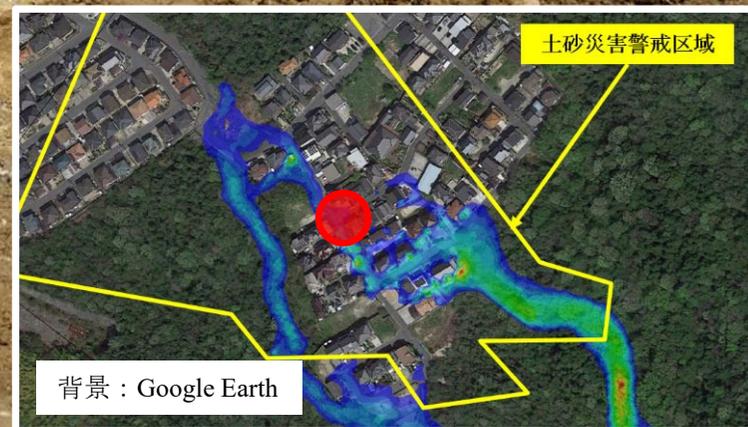
広島県安芸郡熊野町川角



広島県安芸郡熊野町川角



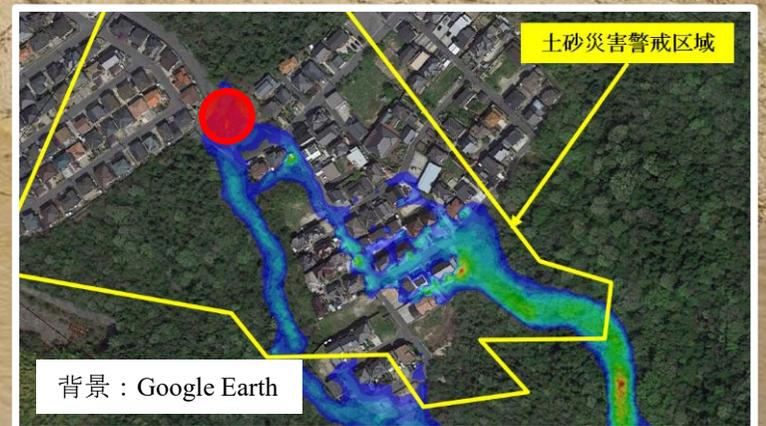
広島県安芸郡熊野町川角



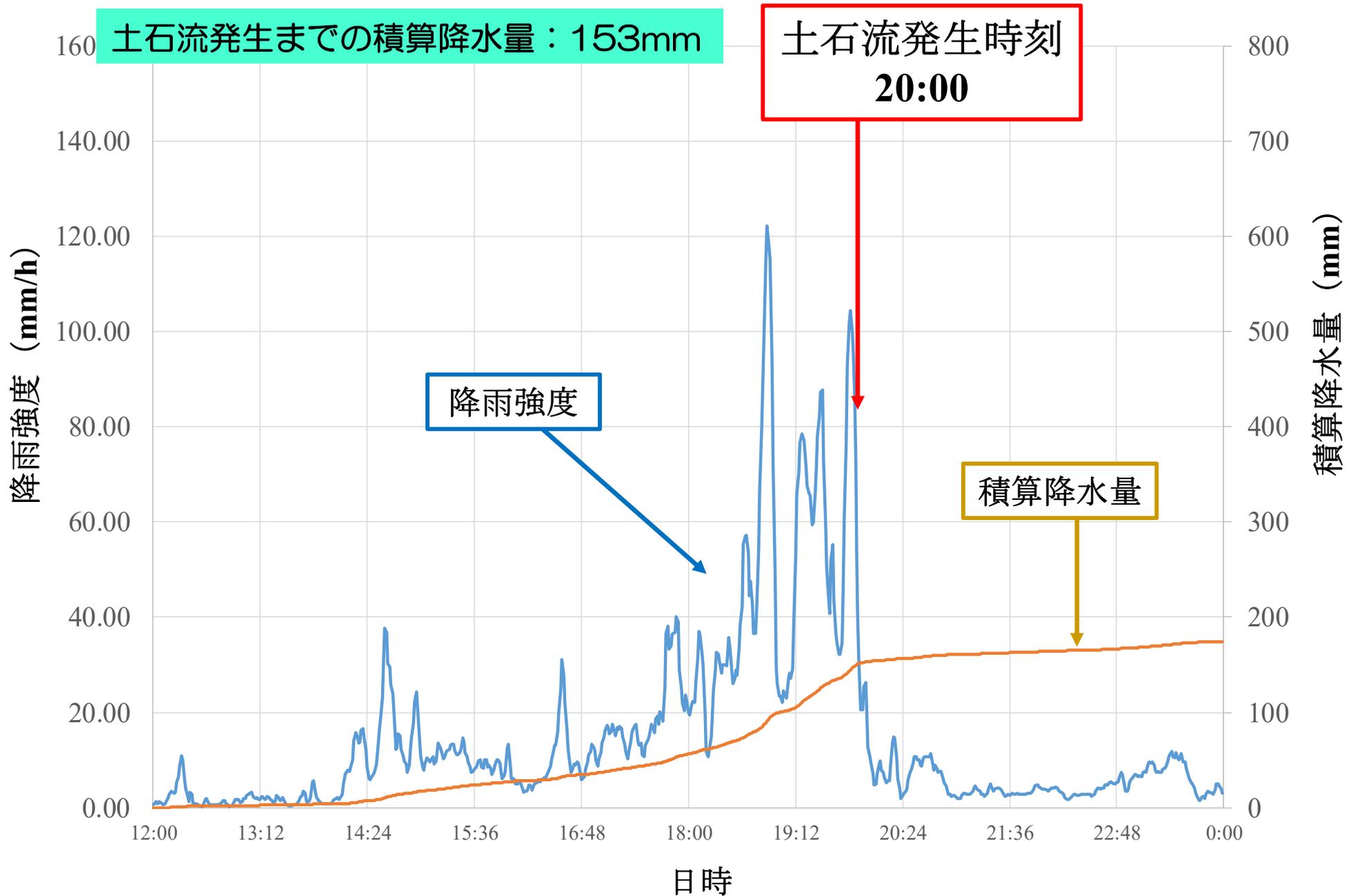
広島県安芸郡熊野町川角



広島県安芸郡熊野町川角

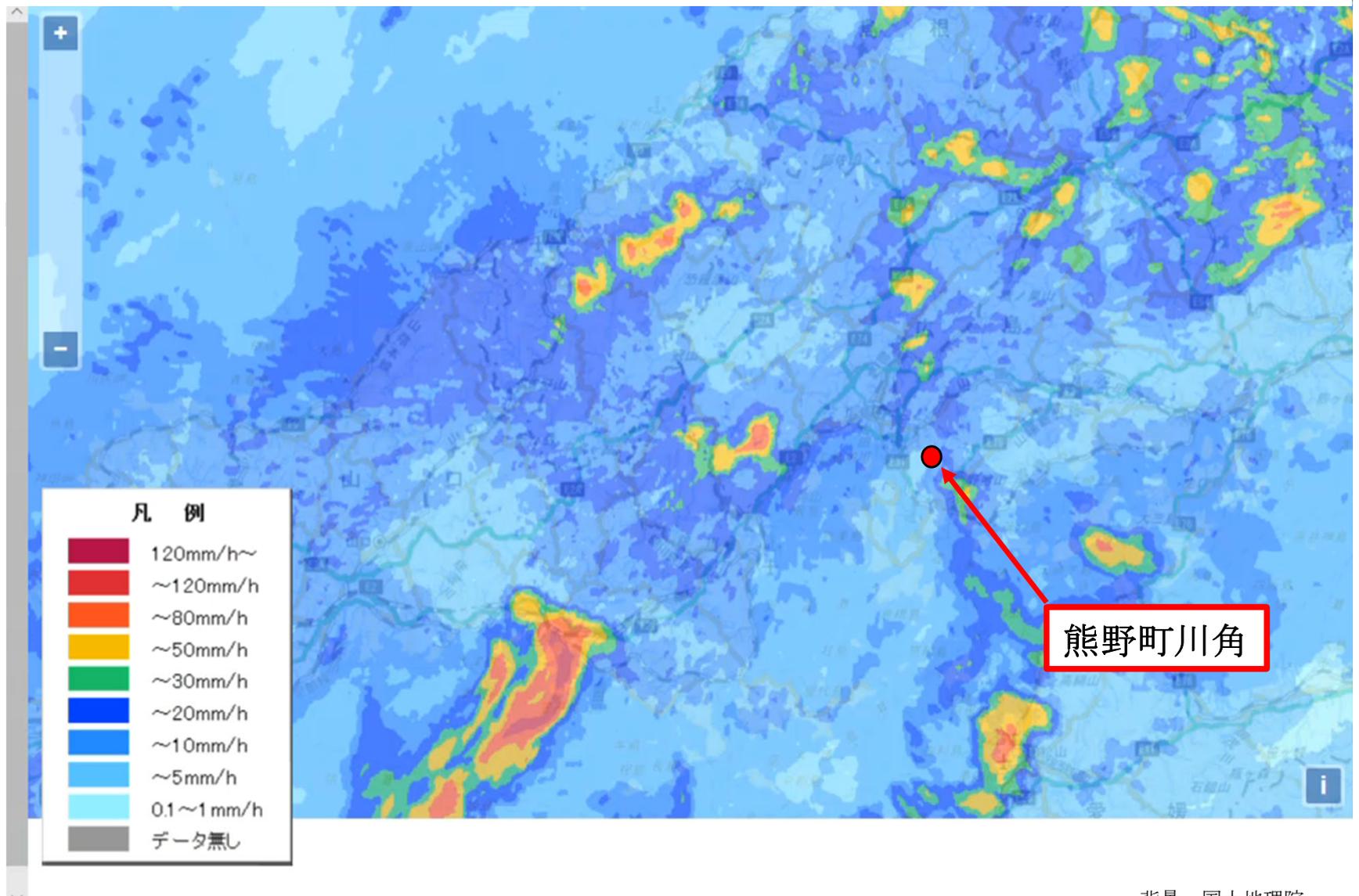


広島県安芸郡熊野町川角の降雨強度 (2018年7月6日正午～24時)

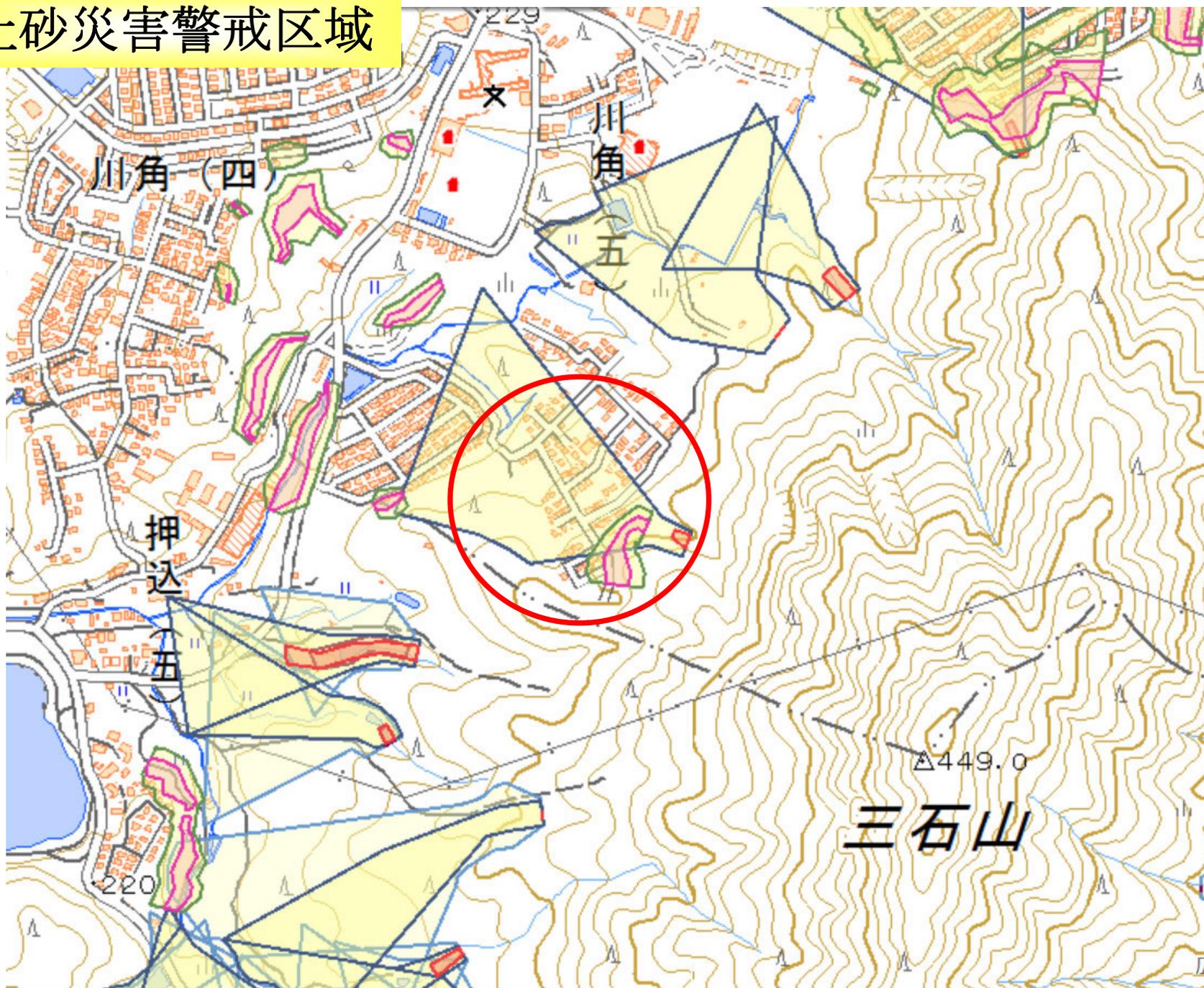


CXレーダー雨量

2018/07/06 16:00

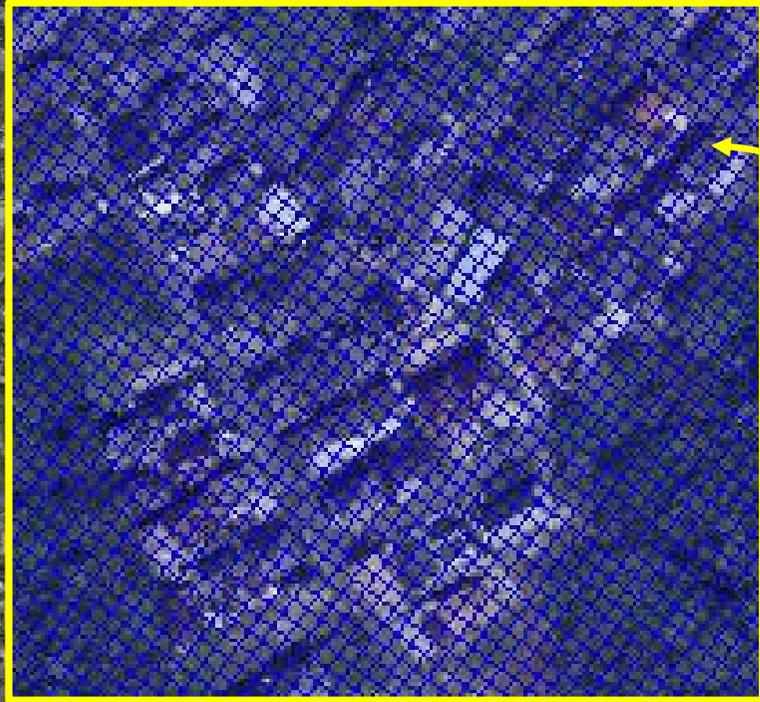


土砂災害警戒区域

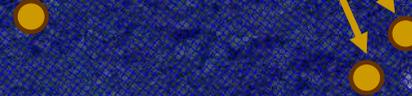


解析条件

背景: Google Earth



斜面崩壊



地形データ：
国土地理院5mDEMデータ
(被災前の地形データ)

解析格子：
2m × 2m

数値シミュレーション (広島県安芸郡熊野町川角)

背景: Google Earth

土石流の到達時間: 50秒
斜面での土石流の平均速度: 9m/s

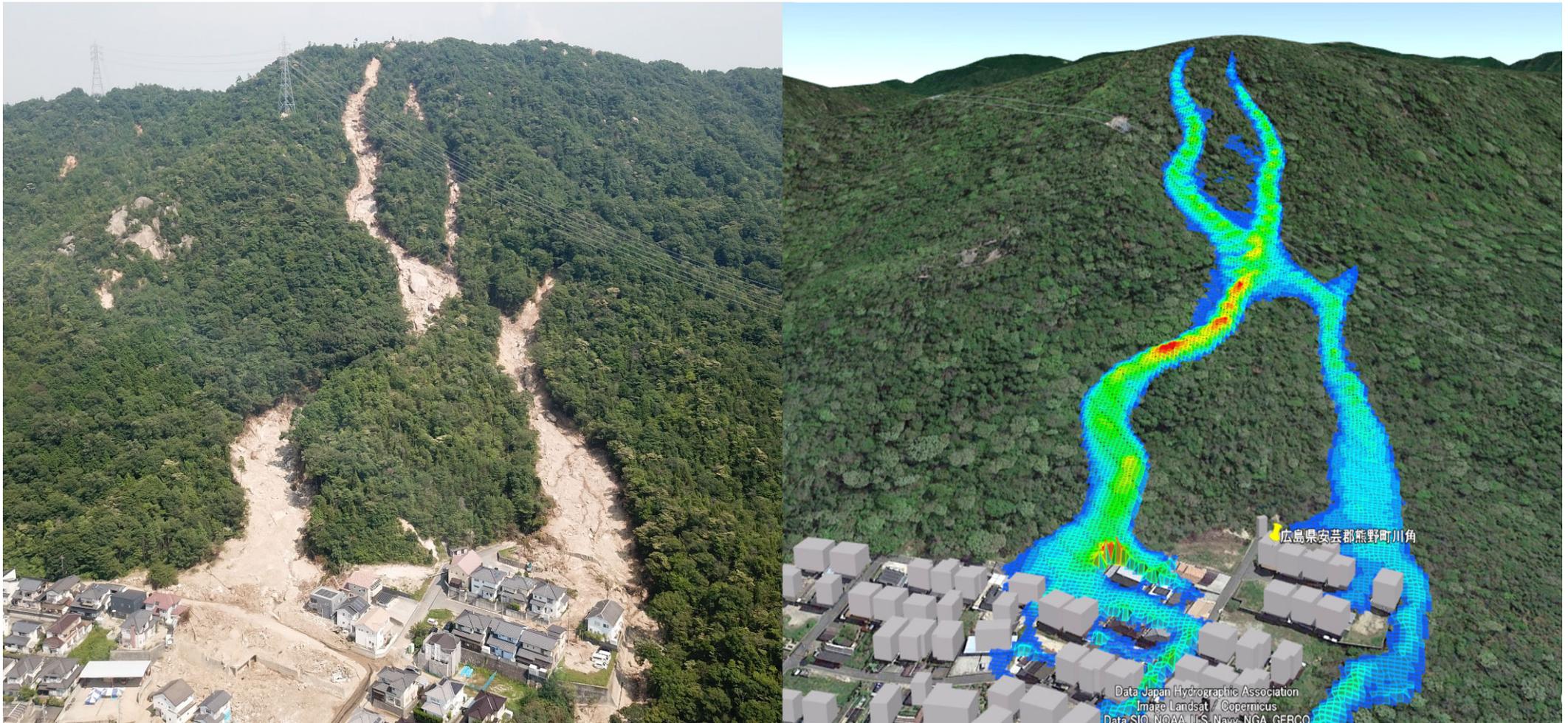
土砂災害警戒区域

Depth

0.1000.5140.929 1.34 1.76 2.17 2.59 3.00



土石流の数値シミュレーション



背景: Google Earth

数値シミュレーション (広島県安芸郡熊野町川角)

背景: Google Earth

土石流の到達時間: 50秒
斜面での土石流の平均速度: 9m/s

土砂災害警戒区域

Depth

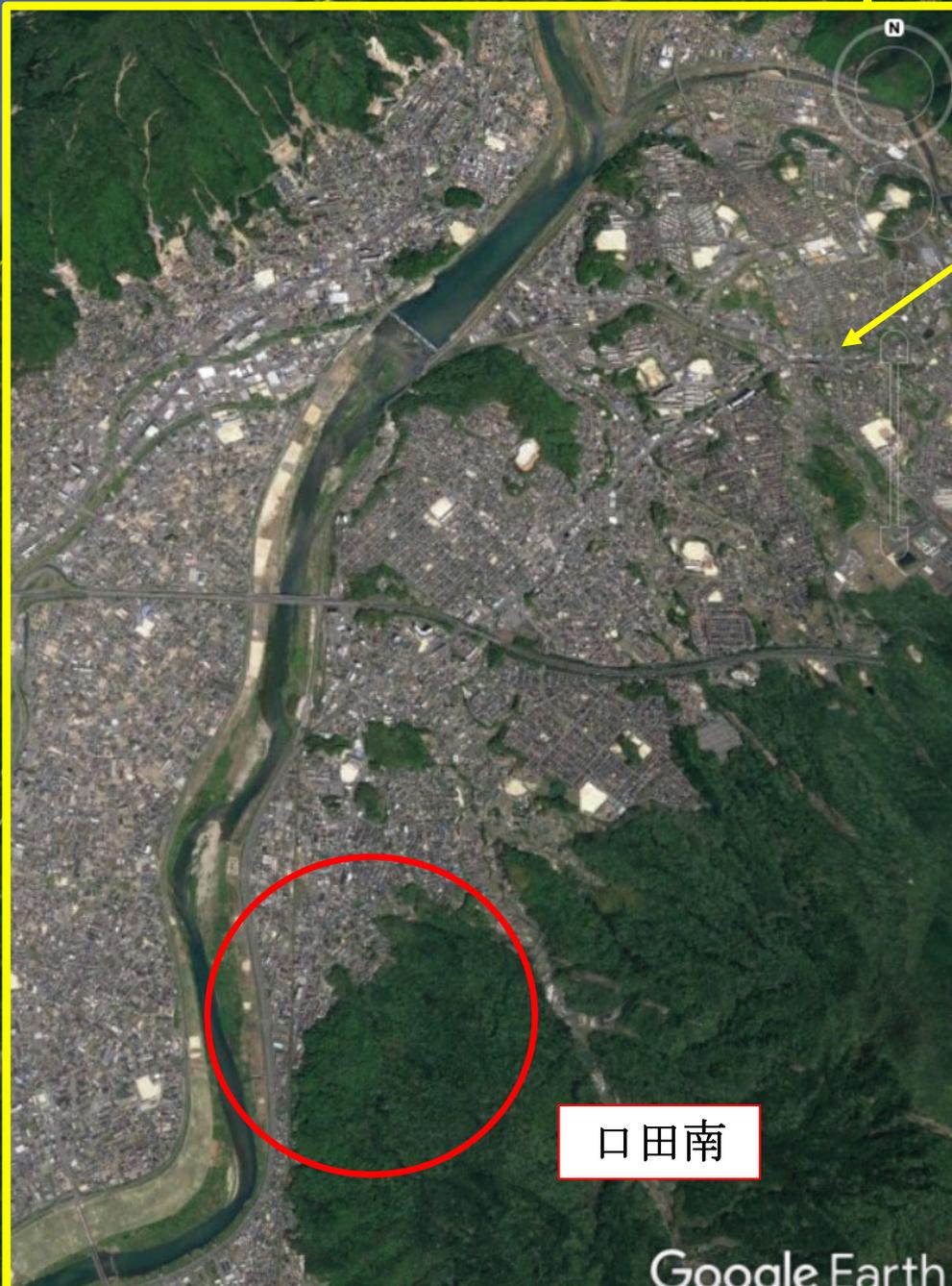
0.1000.5140.929 1.34 1.76 2.17 2.59 3.00



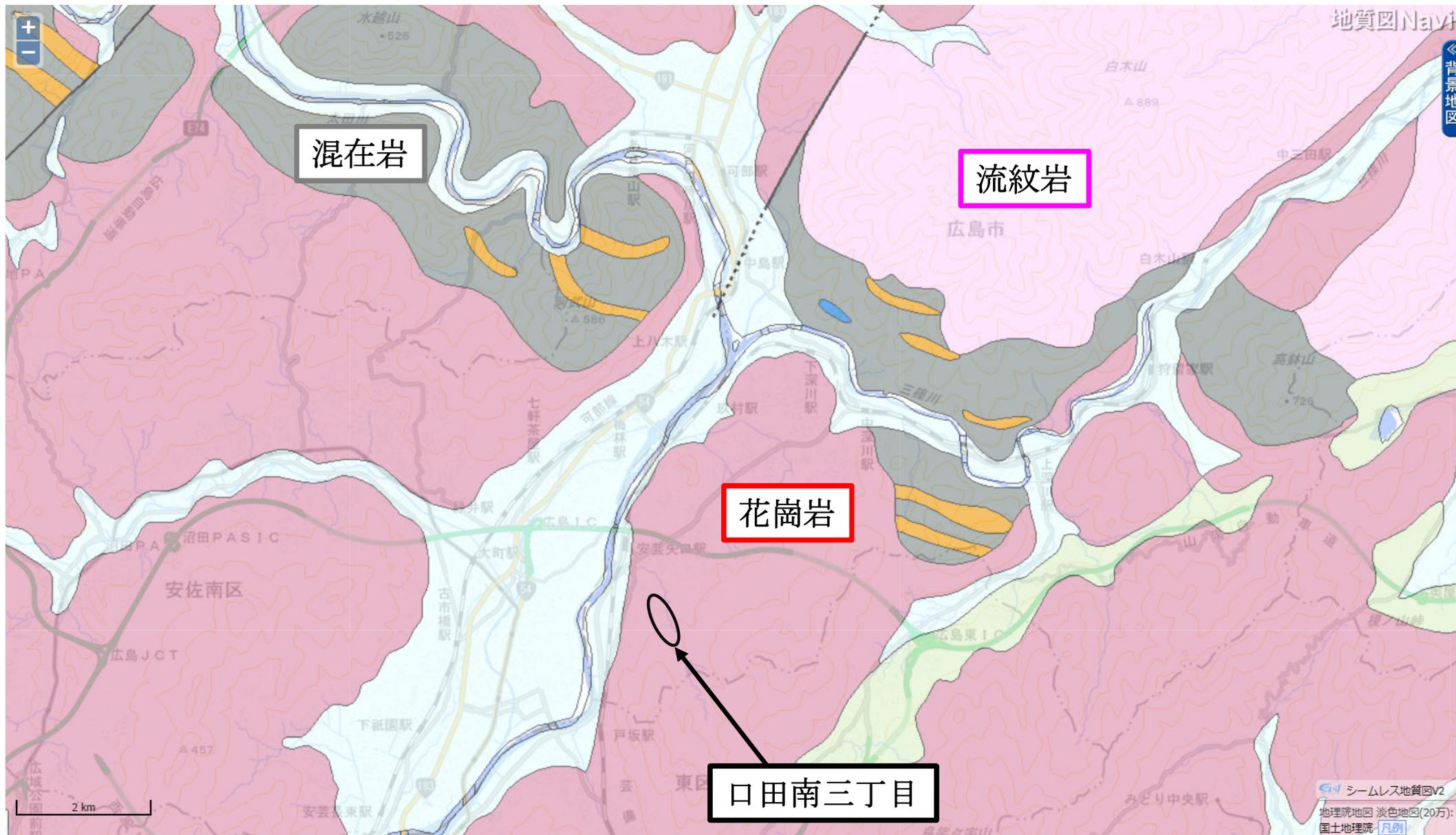
撮影: パスコ



広島市安佐北区口田南三丁目



地質



数値シミュレーション（広島市安佐北区口田南三丁目）

地形データ：

国土地理院5mDEMデータ
(被災前の地形データ)

解析格子：

2m×2m

土石流の到達時間：**66秒**
斜面での土石流の平均速度：**7.4m/s**

斜面崩壊



背景：国土地理院

Time: 0sec

土砂災害警戒区域 (広島市安佐北区口田南三丁目)

土砂災害警戒区域



Depth

0.0000 0.714 1.43 2.14 2.86 3.57 4.29 5.00



Time: 0 sec

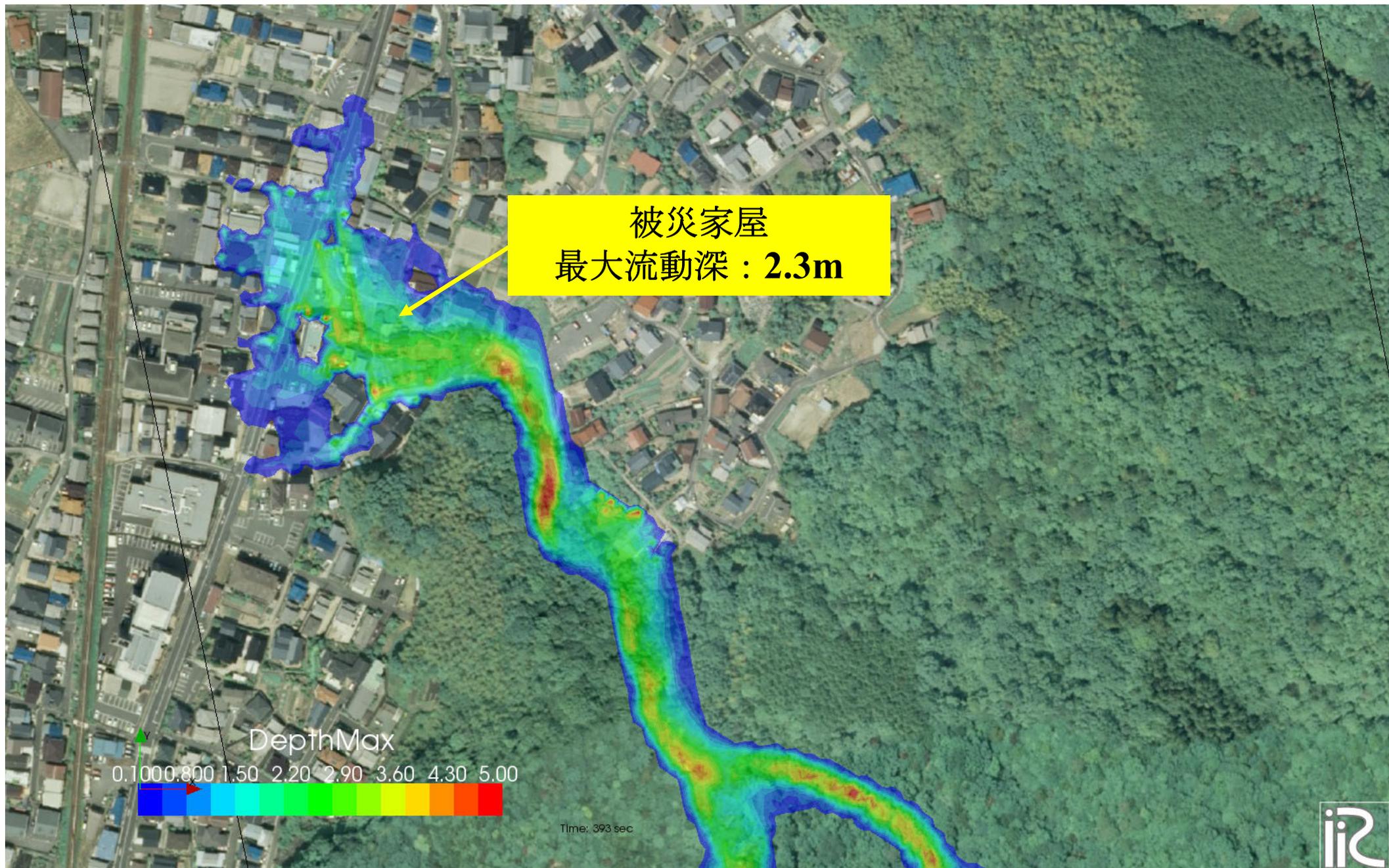
背景：国土地理院

土砂災害警戒区域（広島市安佐北区口田南三丁目）



土砂災害警戒区域内

最大流動深（広島市安佐北区口田南三丁目）

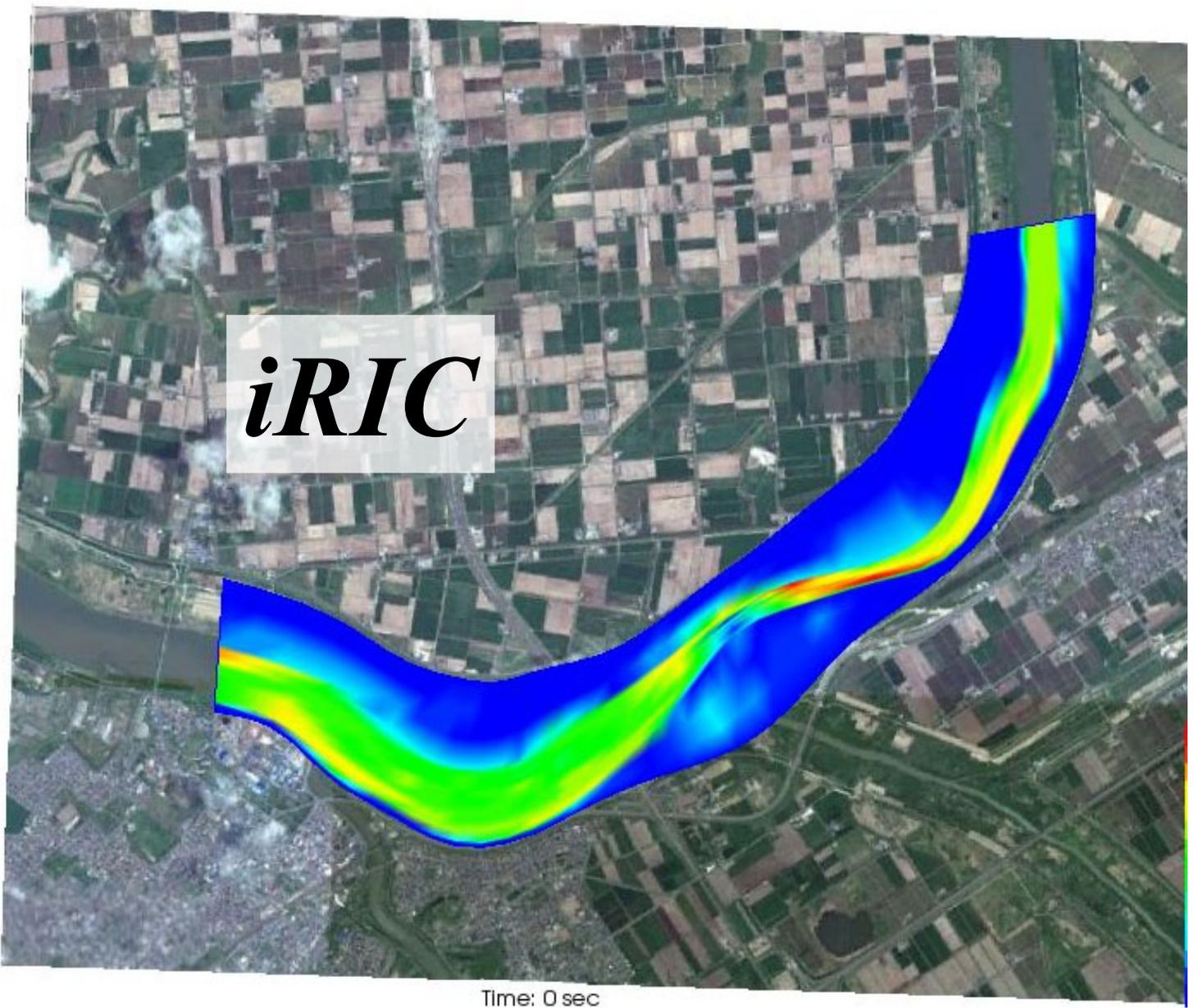




t = 0 s

ユーザー

- Morpho2D 格子
- iRICZone
- 格子形状
- コンター
 - Depth
 - Elevation
 - IBC
 - WaterSurfaceElev...
 - ElevationChange
 - MeanGrainSize
 - BedShearStress
 - Velocity (magnitude)
- ベクトル
 - Velocity
- 流線
 - Velocity
- パーティクル
 - Velocity
- 背景画像
 - WS000066.JPG
 - I27-35.jpg
- タイトル
- 時刻



Time: 0 sec

iRICとは？

iRICは、河川流や河川地形の時空間的な変化を解析するFREEの数値解析ソフトウェア！

予算がなくても、洪水や土砂災害を防ぐとともに、河川生態システムを保存・創生する、**低コスト**で**質の高い**河川整備計画を作成できる！

研究者・技術者・学生が手軽に数値シミュレーションを実施でき、河川や溪流で発生している水理・土砂水理現象を理解できる！



2014年広島土砂災害

iRICプロジェクト

日本
京都大学, 北海道大学,
寒地土木研究所など...

オランダ
Deltras

中国
Tsinghua
University

台湾



iRIC

アメリカ
USGS

韓国
Seoul University

カナダ
River 2D

土石流の数値シミュレーション



Background image : Google Earth

まとめ

2014年に広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流，2018年に広島県安芸郡熊野町川角と広島市安佐北区口田南三丁目で発生した土石流について，現地調査と数値シミュレーションを実施し，土石流災害の発生要因を検討するとともにその予測・対策技術について紹介した。

- (1) 広島市安佐南区八木三丁目の土石流災害では，宅地に流れ込んだ土量は，斜面崩壊の土量の10倍以上である．これは，土石流が流動しながら河床と河岸を浸食して土砂と水を土石流自身に取り込みながら流下するためである．これらのことは，宅地に流れ込む土石流の規模・氾濫範囲や速度・深さなど，土石流災害対策に不可欠な物理量の予測は，土石流の発達（減衰）過程を考慮する必要があることを示している．
- (2) 土石流は，流動しながら発達（減衰）することを考慮すると，上流域に比較的小規模な砂防ダム建設で十分な土石流対策となる場合もあり，低コストでの土石流災害対策が可能である．
- (3) 数値シミュレーションにより，熊野町川角では山頂付近の崩壊発生から北側の溪流の出口付近の家屋に土石流が到達するまで50秒程度，斜面における土石流の平均速度は約9m/sであった．数値シミュレーションから得られるこれらの情報は，避難方法や土石流災害対策を考える上で有効な情報となると考えられる．

まとめ

- (4) 広島市で発生する土石流は、雨の降り始めからの積算降水量が比較的少ない状態で発生していることが多い。これは、地質が風化した花崗岩であるとともに、溪流下流部に多くの家屋が存在することなどが理由として考えられる。
- (5) 土砂災害警戒区域の設定では、警戒区域内の建物や道路などは無視ししている。しかし、実際の土石流は建物や道路の影響を受け、より複雑な形状で氾濫する。そのため、数値シミュレーションによる建物や道路などを考慮した土石流の氾濫域や流動深の空間分布の把握は、土石流対策を考える上で有効である。
- (6) 土石流は木造家屋を破壊することが多いが、鉄筋コンクリート構造の建物を破壊するほどの流体力を有していない。また、溪流が宅地に流れ込む地点周辺を除くと、宅地での土石流の流動深さは浅いため、建物の2階に土石流が到達せず、建物の損傷が小さい場合が多い。そのため、土砂災害警戒区域内でも土石流が危険な状態で流れてくる可能性が非常に低い場所が存在するため、そのような場所に一時的な避難所を設けたり、上階への垂直避難を実施することは、土石流災害からの生存率を高める有効な方向である。