

2025年度 河川技術シンポジウム

オールセッション1 6月20日(金)11:10 - 12:50

S 1 - 2 : 河川計画, 超過洪水, 洪水リスク(1) (A会場)

関東平野北西縁断層帯で想定される 地震における河道閉塞リスクの確率的予測



Saitama University

埼玉大学

○小田 竜生

埼玉大学大学院

(現) 電源開発株式会社

田中 規夫

埼玉大学大学院 教授

五十嵐 善哉

埼玉大学大学院 助教

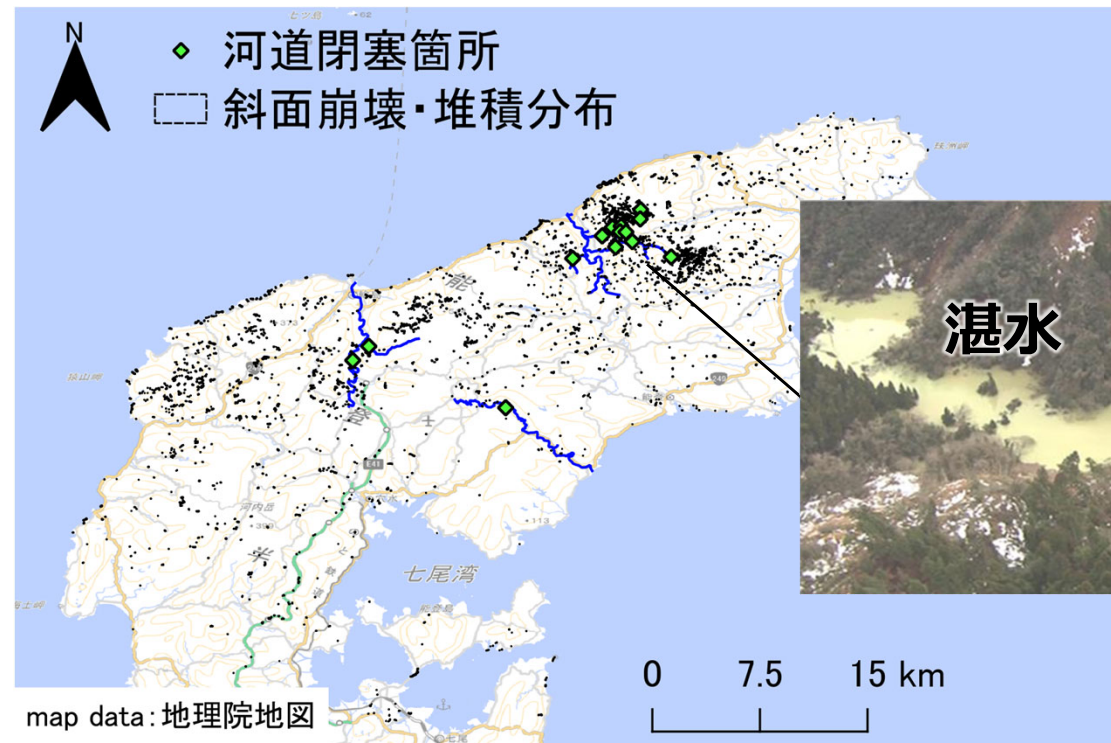
河道閉塞について

- 河道閉塞…崩れた土砂が河道を塞ぐ現象，浸水被害や土石流が懸念される
- R6能登半島地震で14箇所 of 河道閉塞が確認，その後的大雨で半数が決壊



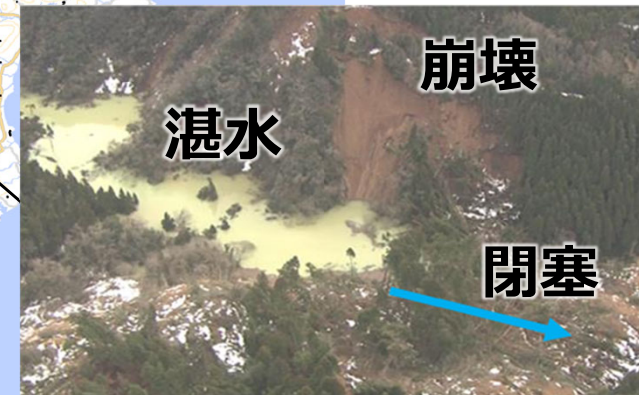
河道閉塞のイメージ

土砂災害防止広報センターの
図に加筆



R6能登半島地震の河道閉塞箇所

国土交通省(2024), 国土地理院(2024a)を
もとに作成

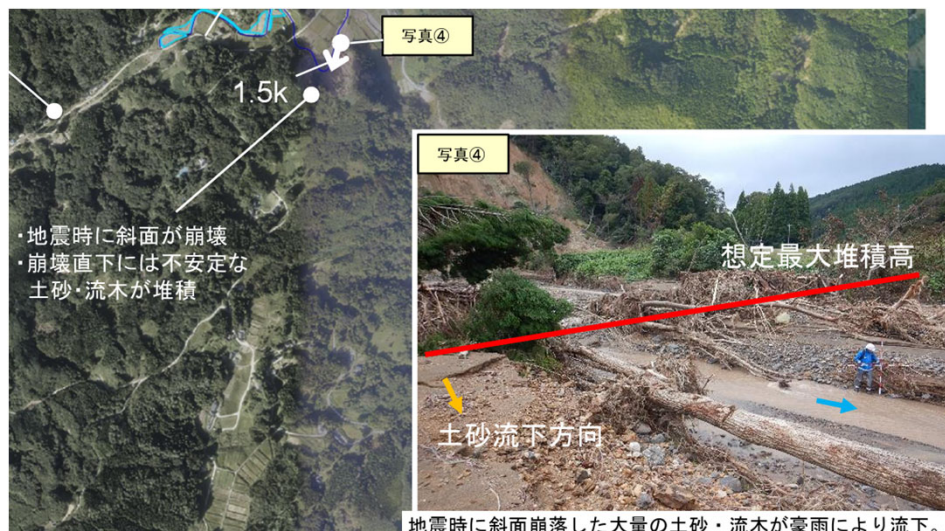


河道閉塞対策の現状

発災後に、緊急調査に基づく情報提供が行われる → ハザードマップ等の事前対策は講じられていない

地震後の河道管理への影響

地震時の崩壊土砂が河道に堆積
→ その後の出水によって流出，氾濫



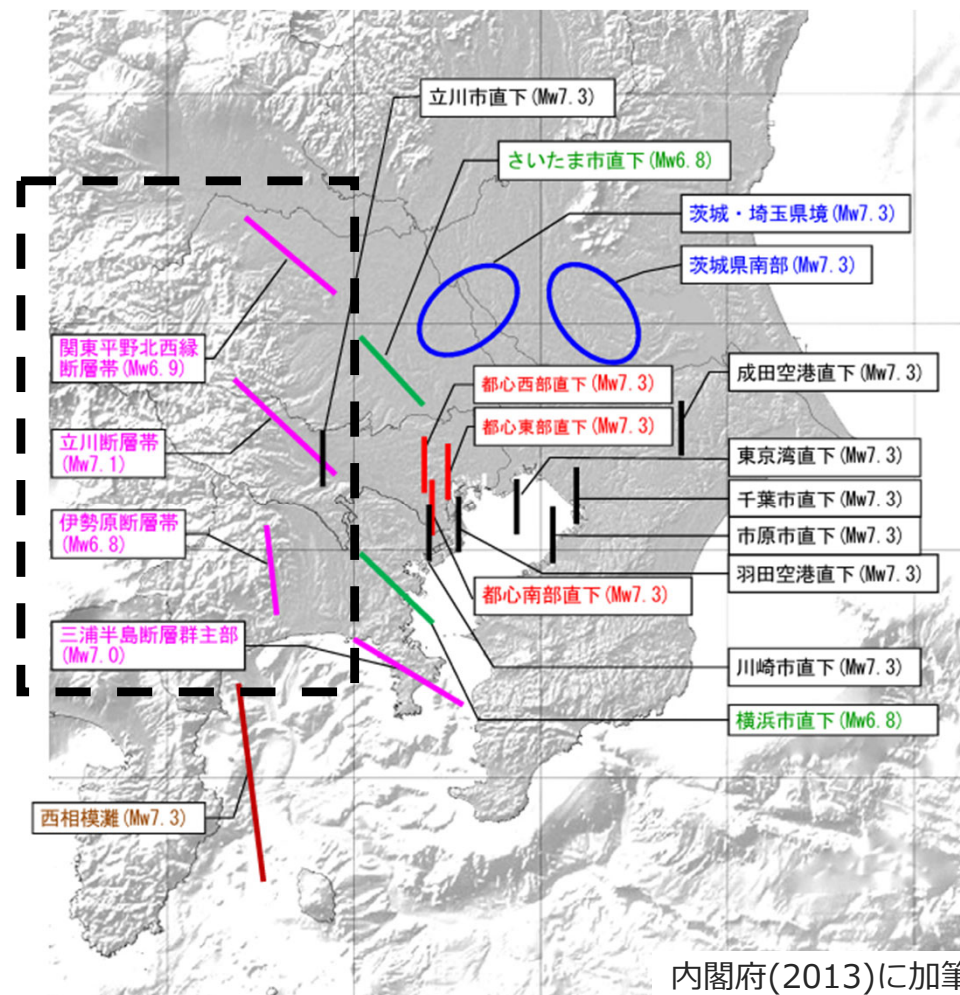
地震時に斜面崩壊した大量の土砂・流木が豪雨により流下。これにより対岸を浸食し、流路が形成

国土交通省(2025)を加工して作成

地震時の崩壊土砂流出の様子

首都直下地震の懸念

山地に近い活断層で地震が発生した場合，河道閉塞の多発が予想される

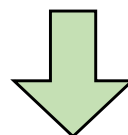


内閣府が検討する首都直下地震モデル

発災前にハード・ソフト対策を講じていくためには

流域全体から河道閉塞の可能性が高いハザード箇所を抽出

研究があまり行われていない



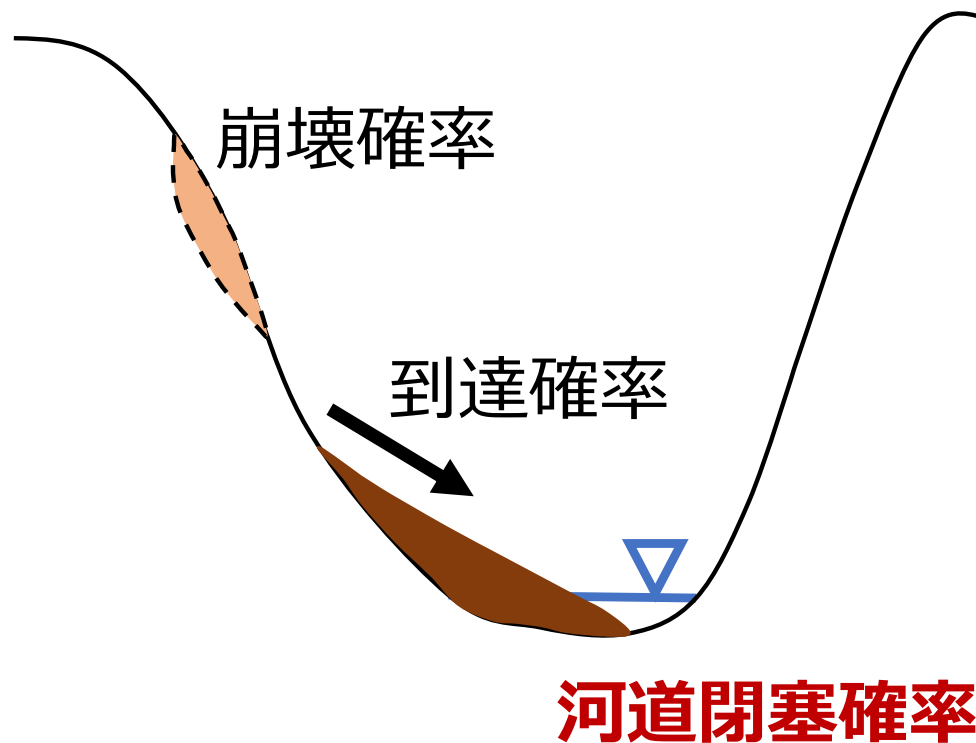
閉塞の規模や下流への影響を考慮したリスク評価

- ・河道閉塞の形成過程を再現する研究（久保ら，2017）
- ・河道閉塞の決壊による土石流の被害範囲の推定（内田ら，2011）

研究目的

- ◆ 地震時河道閉塞発生危険度予測手法の構築，検証
- ◆ 想定される地震への手法の適用

- 河道閉塞の発生過程で起こる現象を確率で表現し、**河道閉塞確率**を導く
- 平面領域を 10m メッシュに区切って計算
- 河道閉塞確率を地図上にプロット



地震時河道閉塞発生危険度予測手法のイメージ

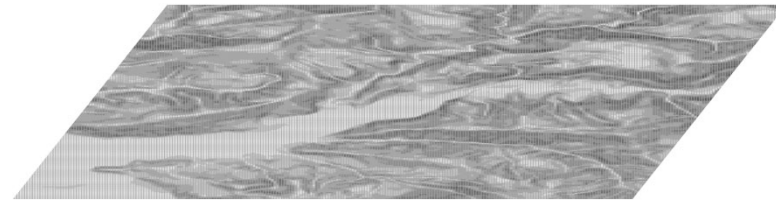
- 任意のメッシュが崩壊する可能性を表す**崩壊確率** P_f を求める
- 崩壊事例に基づく回帰式（酒井ら,2013）

$$P_f = \frac{1}{1 + \exp\{-(-7.89 + 0.09Ang + 0.0019PGA)\}}$$

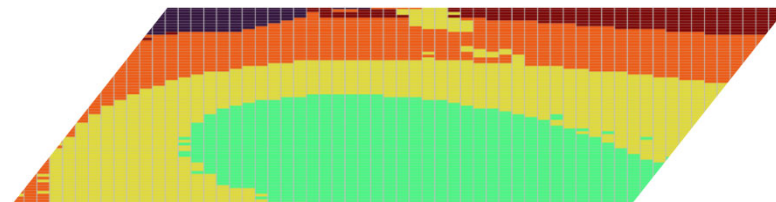
Ang : 傾斜度

PGA : 最大加速度

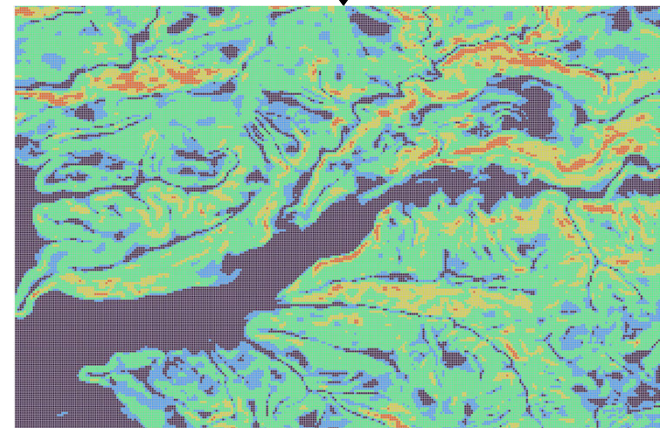
傾斜度 Ang



最大加速度 PGA



崩壊確率 P_f



手法 - 到達確率の算出

6

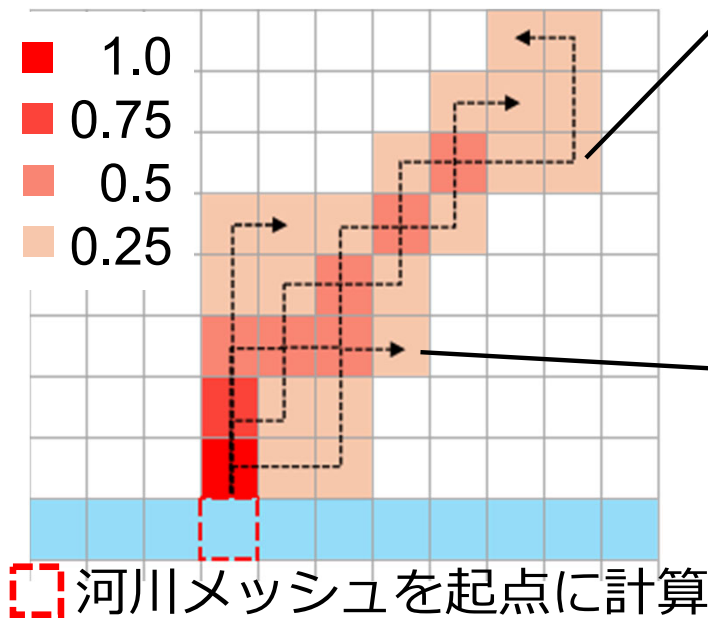
- 「土砂の河道への到達可能性」を表す**到達確率 P_r** を求める
- 福田ら(2005)の一樣乱数を用いたランダムウォーク (RW) の繰り返し計算を応用し、河川メッシュを起点に計算

到達確率 $P_r = N/\Omega$ N : RWの通過回数, Ω : 計算回数

- 移動方向は移動確率, 停止距離は見通し仰角の分布確率を用い, 都度, 一樣乱数0~1を発生させて決定する

到達確率 ($\Omega = 4$ の場合)

■ 1.0
■ 0.75
■ 0.5
■ 0.25



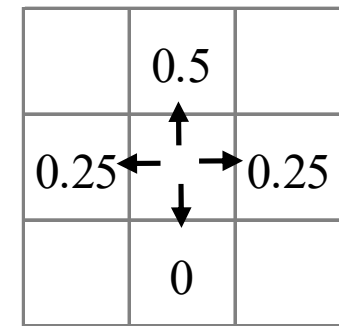
RWの繰り返し計算

福田ら(2005)を応用

移動方向の決定

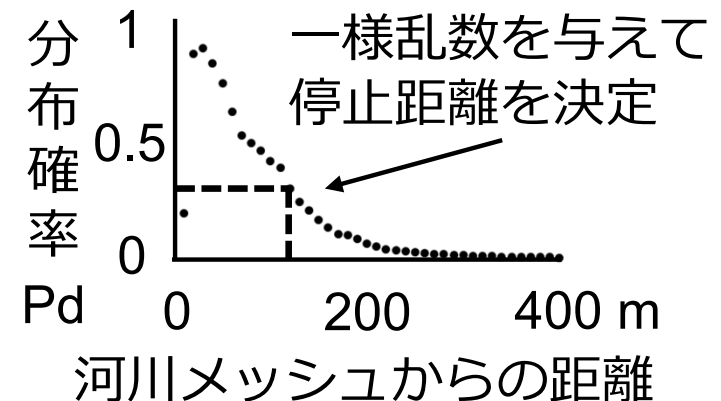
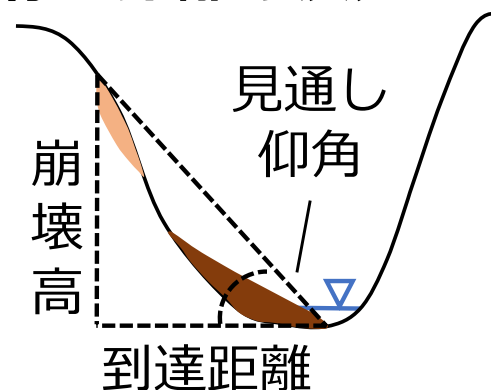


標高例



移動確率

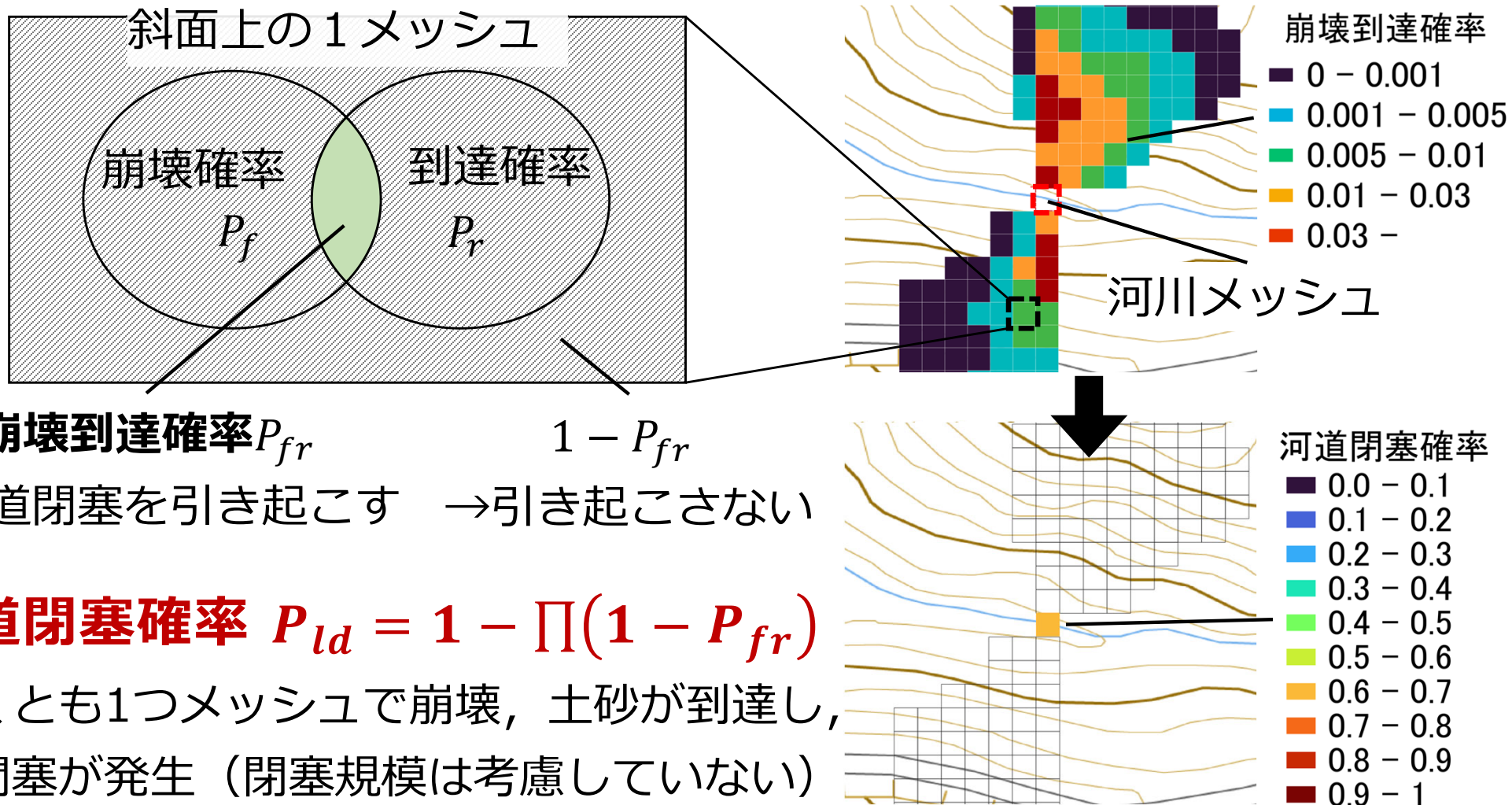
停止距離の決定



手法 - 河道閉塞確率の算出

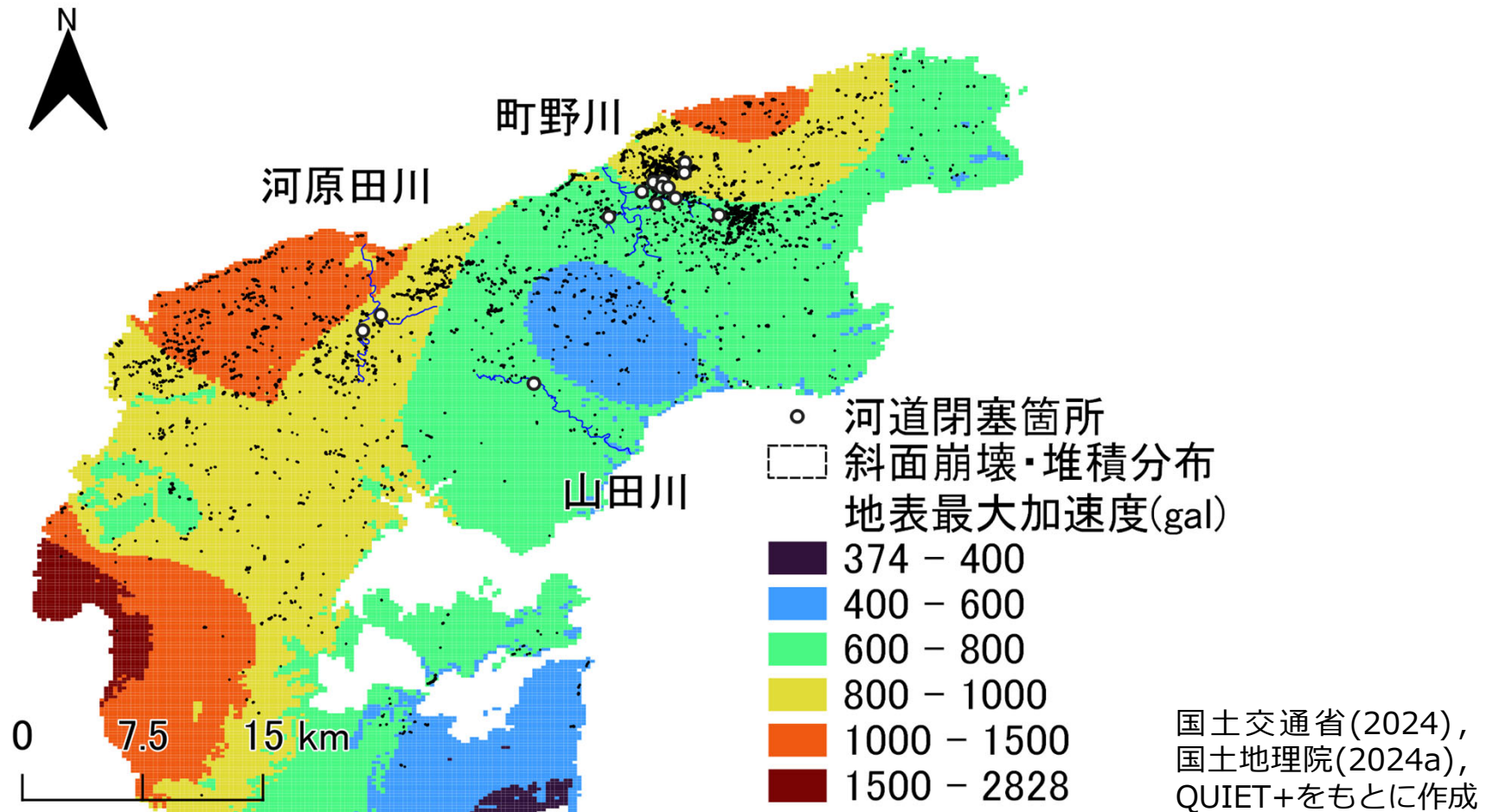
7

- 任意のメッシュで崩壊が起き、土砂が計算起点の河川メッシュに到達する可能性を表す**崩壊到達確率** $P_{fr} = P_f \times P_r$ を求める
- 任意の河川メッシュで河道閉塞が発生する可能性を表す**河道閉塞確率** P_{ld} を求める



結果 1 - R6能登半島地震における検証 8

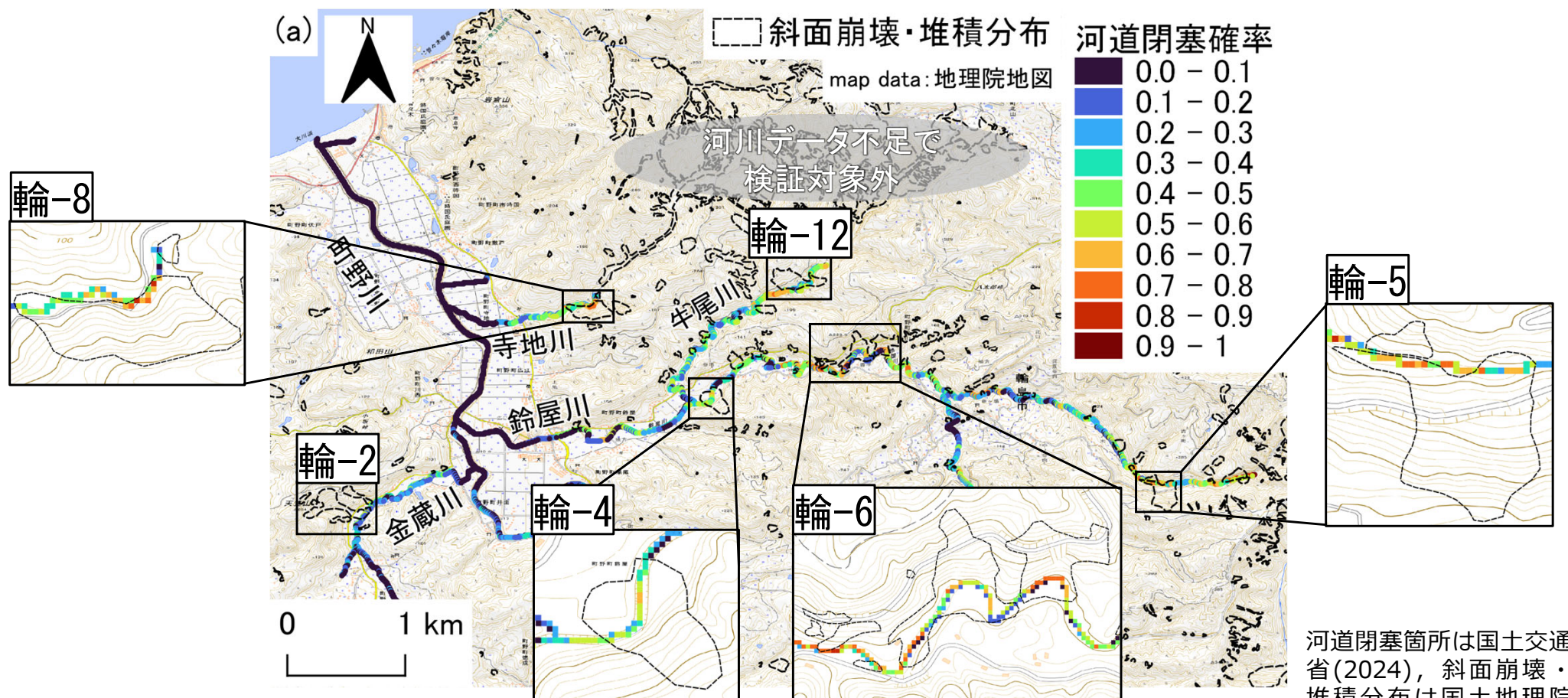
- 令和6年能登半島地震に地震時河道閉塞発生危険度予測手法を適用し、実際の河道閉塞箇所を抽出可能か検証した
- 傾斜度はDEM10mより作成，最大加速度はQUIET+のデータを使用した



R6能登半島地震の最大加速度と被害分布

町野川流域における河道閉塞箇所への抽出

- 河道閉塞箇所において周辺河道より相対的に高い河道閉塞確率を示した
 - 周辺斜面で崩壊が多発している河道でも高い確率を示した
- 河道閉塞箇所をおおむね予測できる



河道閉塞箇所は国土交通省(2024), 斜面崩壊・堆積分布は国土地理院(2024a)を使用

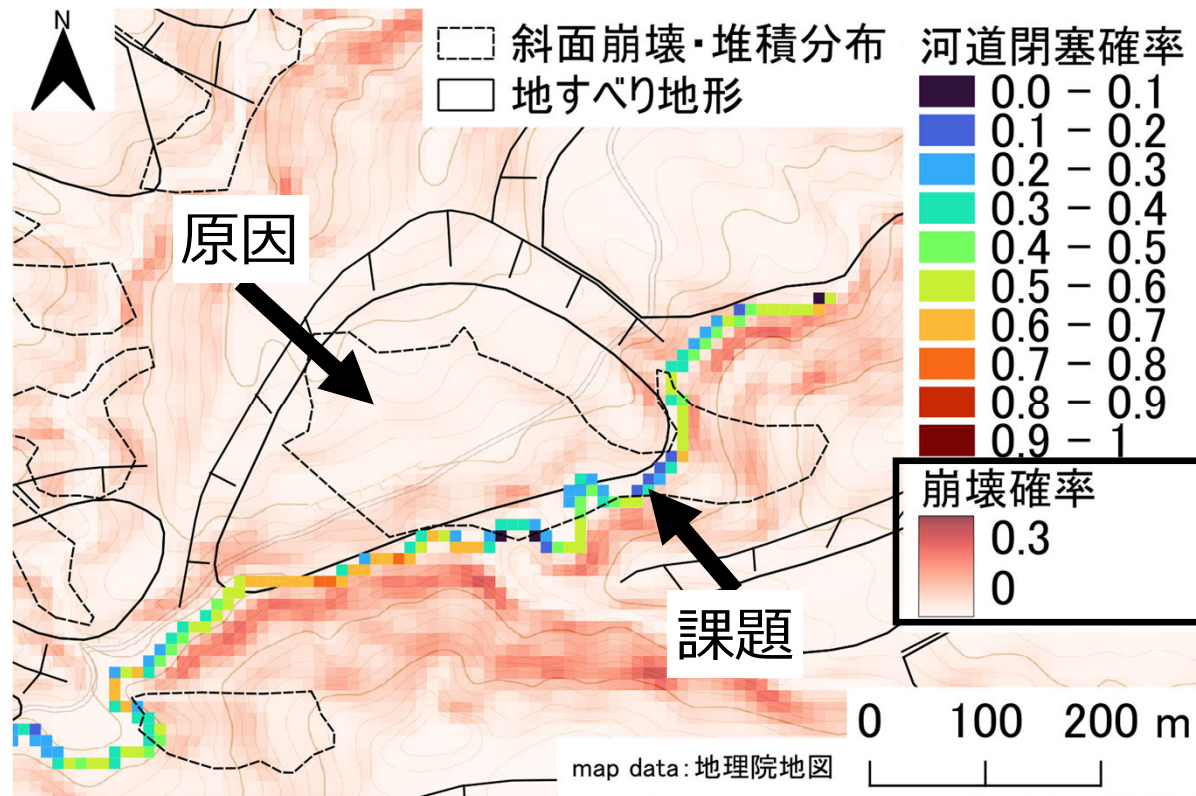
町野川流域における河道閉塞確率の算出結果

地すべり起因の河道閉塞の予測精度

課題 地すべり起因の閉塞を予測できない

原因 崩壊確率は急傾斜地の崩壊が対象で，緩斜面で起こる地すべりの危険性を表現できない

対策案 地すべり予測手法を組み込みが必要

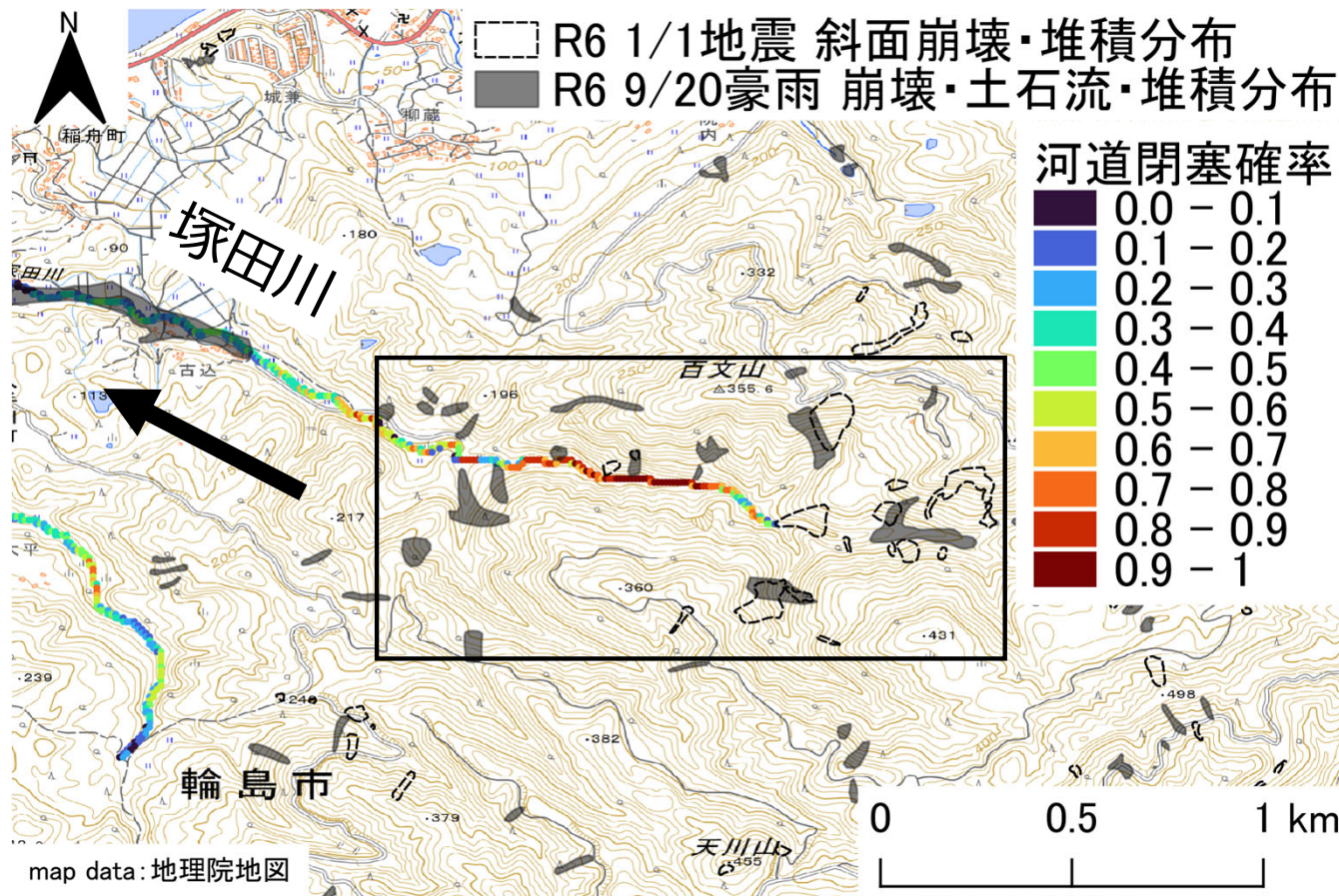


斜面崩壊・堆積分布は国土地理院(2024a)，地すべり地形は防災科学技術研究所(2001)を使用

地すべり性の崩壊に起因する河道閉塞 (輪-12)

河道閉塞確率と地震後の土砂流出に関する考察

- 地震後の豪雨によって輪島市の塚田川で大規模な土石流が発生
- 地震時に上流で崩壊が発生しており，計算した河道閉塞確率も高かった
→土砂が河道に堆積し，土砂流出の危険性が高まっていたことを示唆

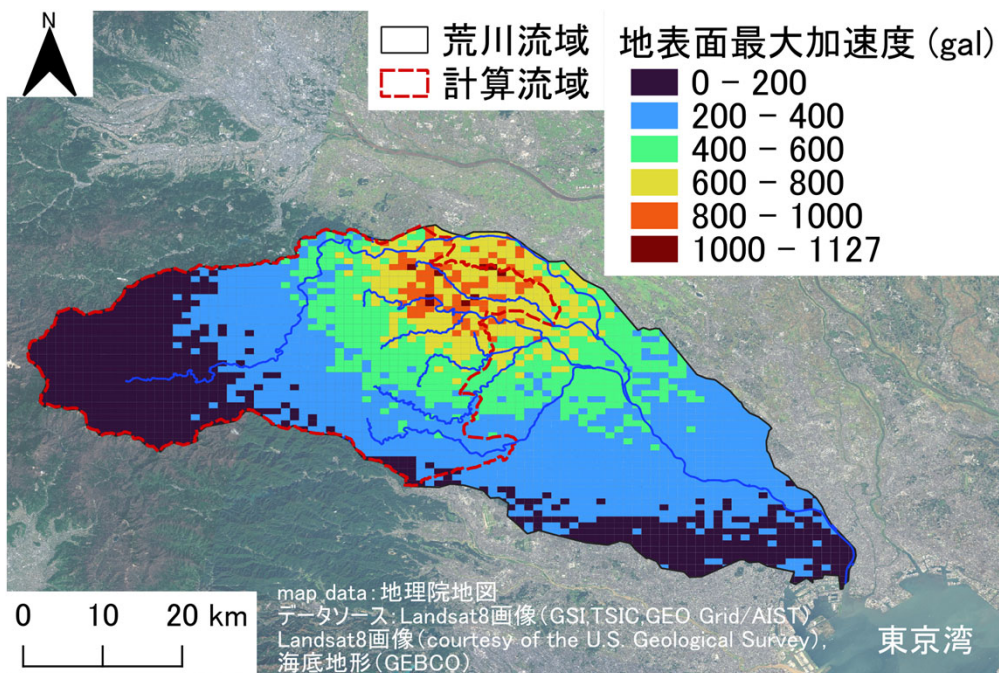


R6 1/1地震 斜面崩壊・堆積分布は国土地理院(2024a), R6 9/20豪雨崩壊・土石流・堆積分布は国土地理院(2024b)を使用

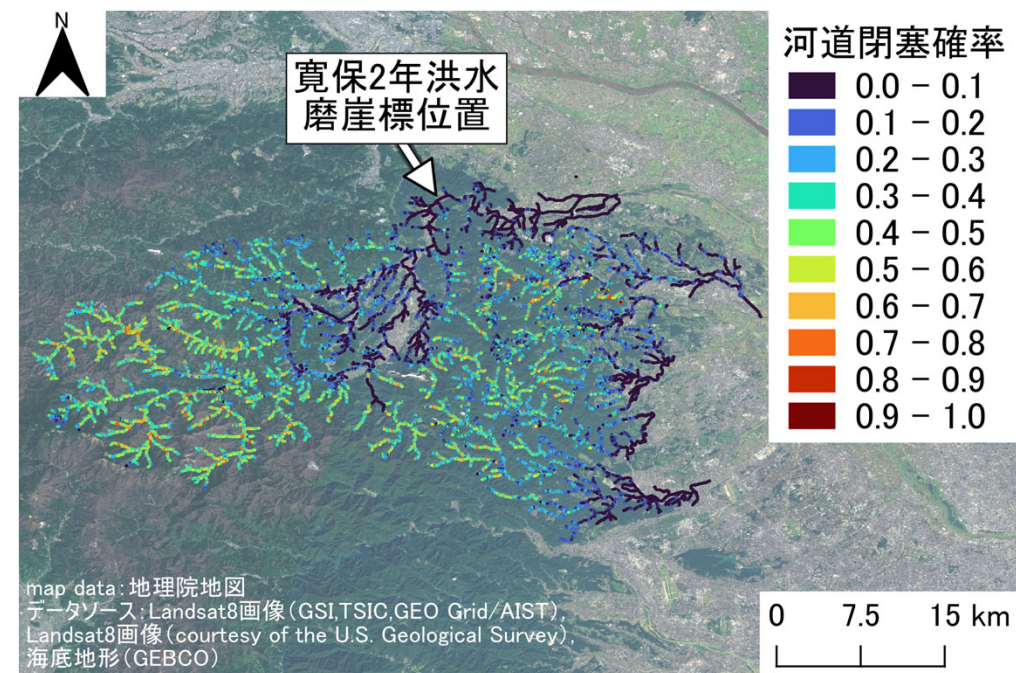
塚田川における地震時河道閉塞確率と地震後の土砂流出

用いた想定地震と荒川流域の河道閉塞確率

- ・ 関東平野北西縁断層帯における想定地震の加速度波形（中央防災会議,2005）を使用
- ・ 荒川では寛保2年洪水で大規模な河道閉塞が発生していた可能性がある（町田,2020）
- ・ 山地で高い河道閉塞確率が算出
- ・ 地すべりが起きた場合，本川が閉塞する可能性がある（本手法では予測できない）



中央防災会議(2005)をもとに作成

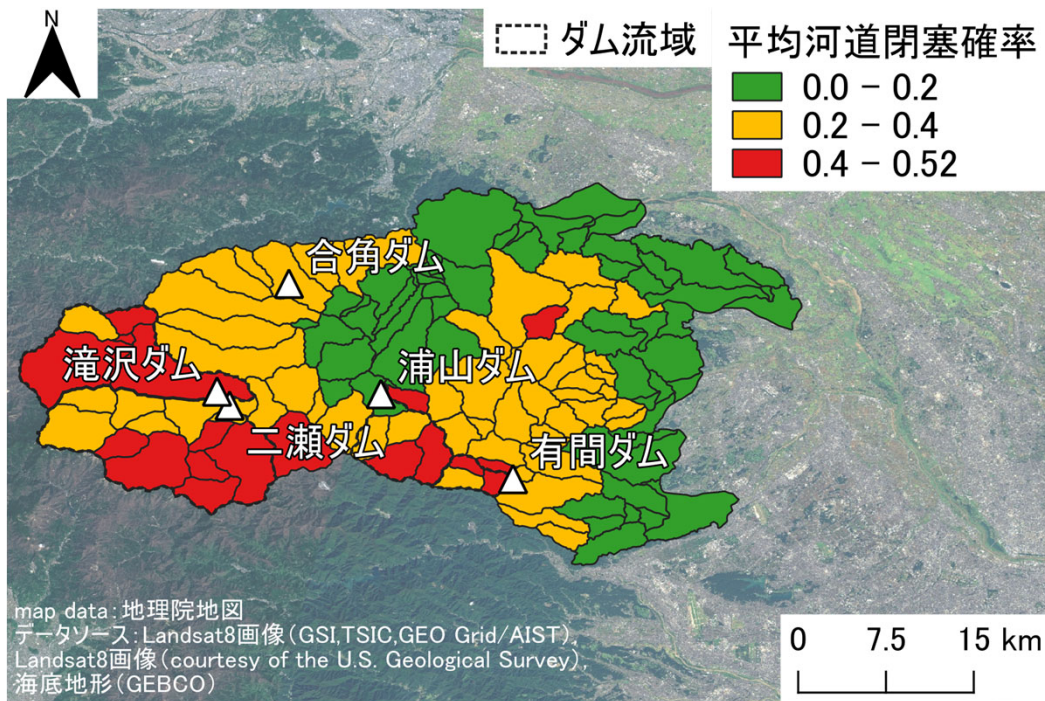


荒川流域の河道閉塞確率の分布

関東平野北西縁断層帯の想定地震

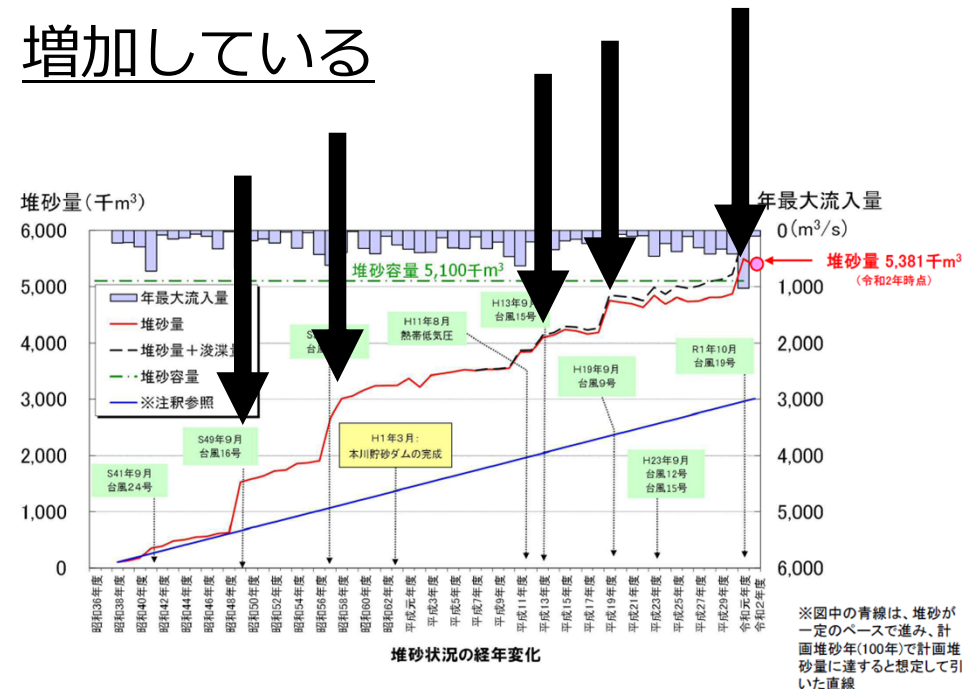
地震後のダム堆砂量の増加可能性に関する考察

- 荒川流域のダムでは、大規模出水によって階段状に堆砂量が増加している
 - 平均河道閉塞確率が高い流域にはダムが位置している
- 地震後の出水では、ダムの堆砂が通常の出水より増加する可能性がある



荒川流域の河道閉塞確率
(小流域ごとに平均)

大雨の度にダムの堆砂量が増加している



水資源機構 (2022) に加筆

大規模出水による堆砂量増加の例

地震時河道閉塞発生危険度予測手法の構築・検証

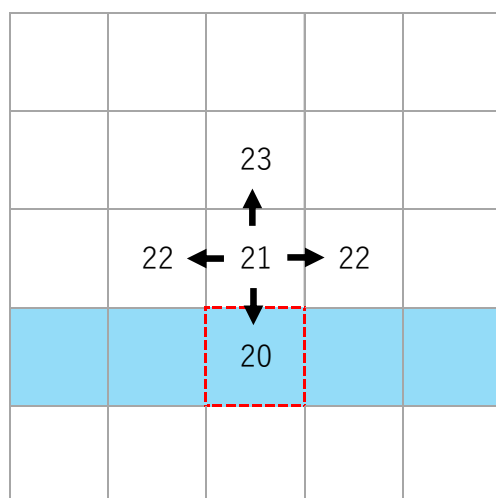
- **河道閉塞確率**によって、実際の河道閉塞箇所をおおむね抽出した
- 確率が高い範囲の下流で、地震後の降雨による土砂流出が増加する傾向
→ 河道閉塞確率が**大規模地震後のダムや河川の土砂管理の対策必要性にも活用**できることを示唆した

想定地震への手法の適用

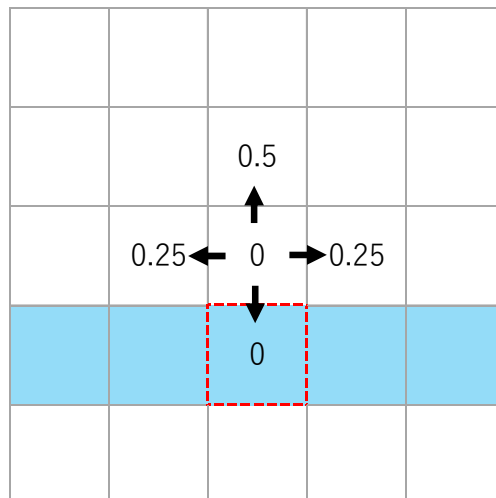
- 関東平野北西縁断層帯で想定される地震を用いて、荒川流域における河道閉塞確率を算出し、小流域単位で危険度の高いエリアを抽出した
- 地震後の出水では、**ダムの堆砂が通常の出水より増加する可能性がある**

展望

- 地すべり予測手法の組み込み、崩壊土砂量などを考慮した定量的評価

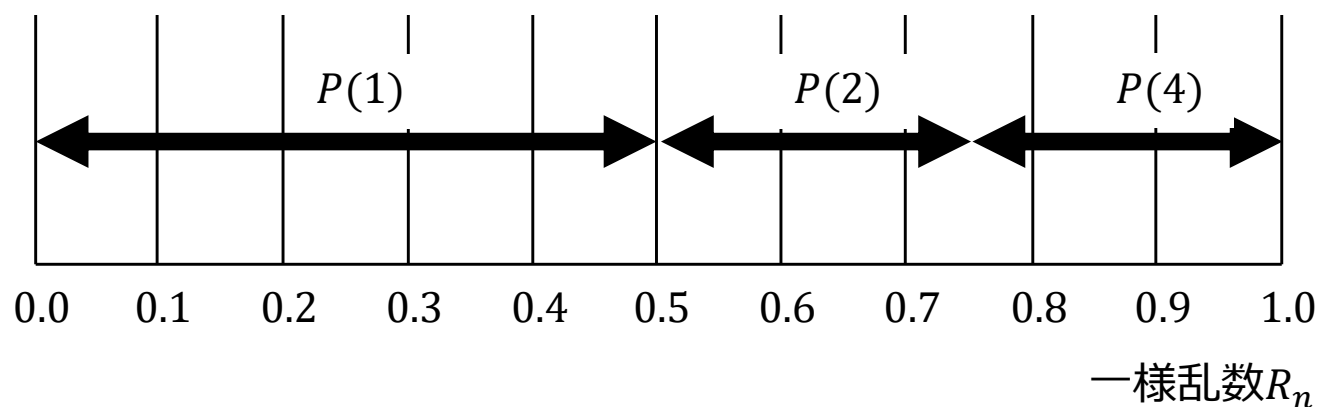


標高例

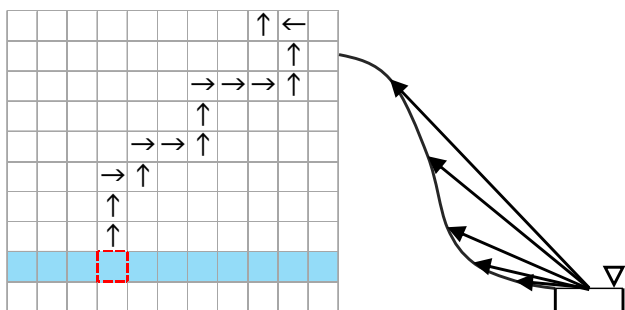


移動確率

$R_n \leq P(1) \rightarrow P(1) \text{へ移動}$
 $P(1) < R_n \leq P(1) + P(2) \rightarrow P(2) \text{へ移動}$
 $P(1) + P(2) < R_n \leq P(1) + P(2) + P(3) \rightarrow P(3) \text{へ移動}$
 $P(1) + P(2) + P(3) < R_n \leq P(1) + P(2) + P(3) + P(4) \rightarrow P(4) \text{へ移動}$



ランダムウォークの移動方向決定のイメージ（福田ら，2005を参考に作成）



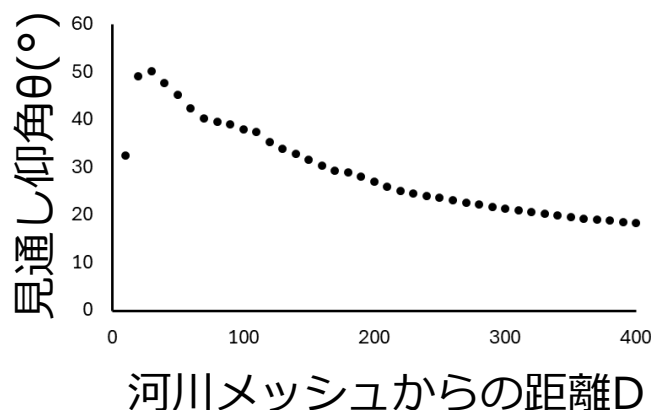
最急勾配線の検索 見通し仰角の測定

見通し仰角の分布確率 (Pd-θ曲線)

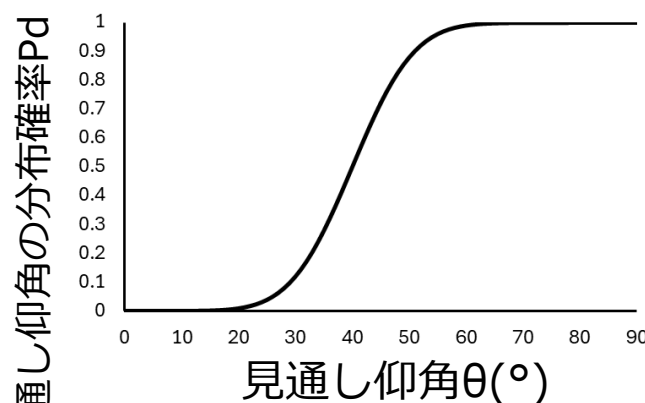
$$Pd(\theta) = \sum_{\theta=0}^{90} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\theta - m)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

$$m = 40.025, \sigma = 8.506$$

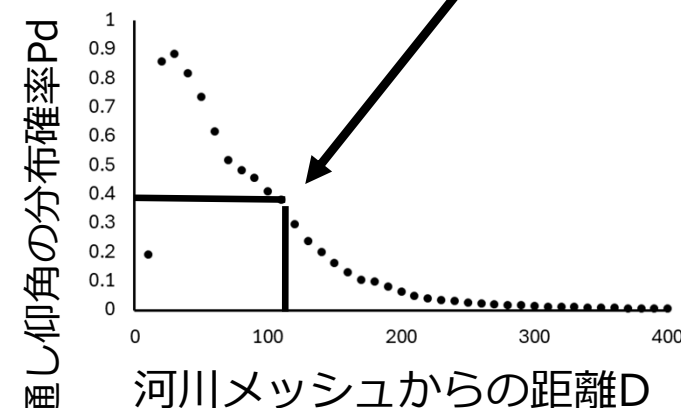
ここに一様乱数0~1
を与えて停止距離を決
定する



D-θ曲線



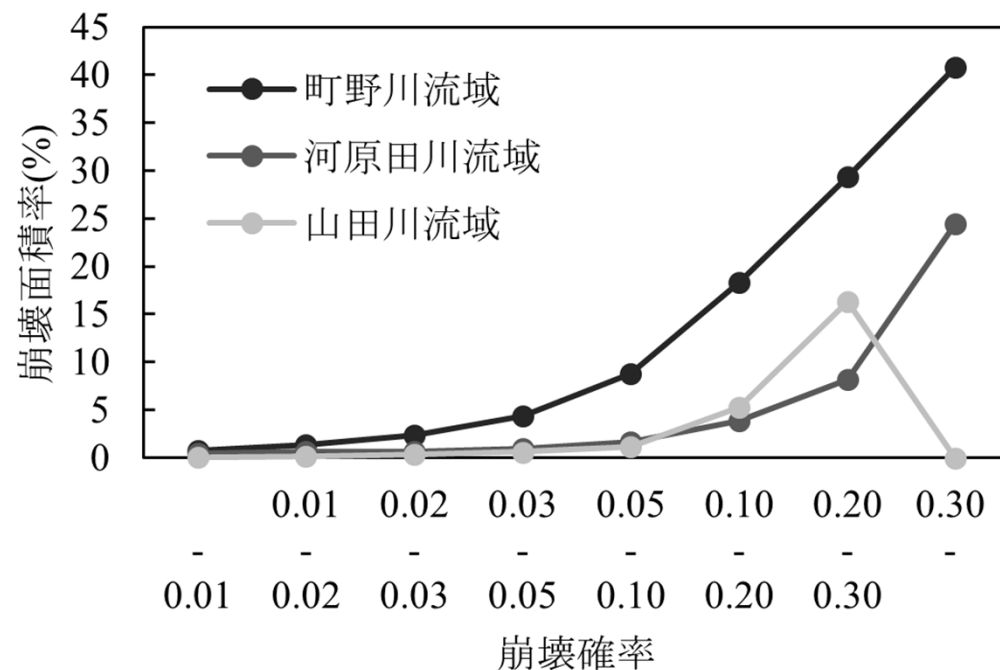
θ-Pd曲線



D-Pd曲線

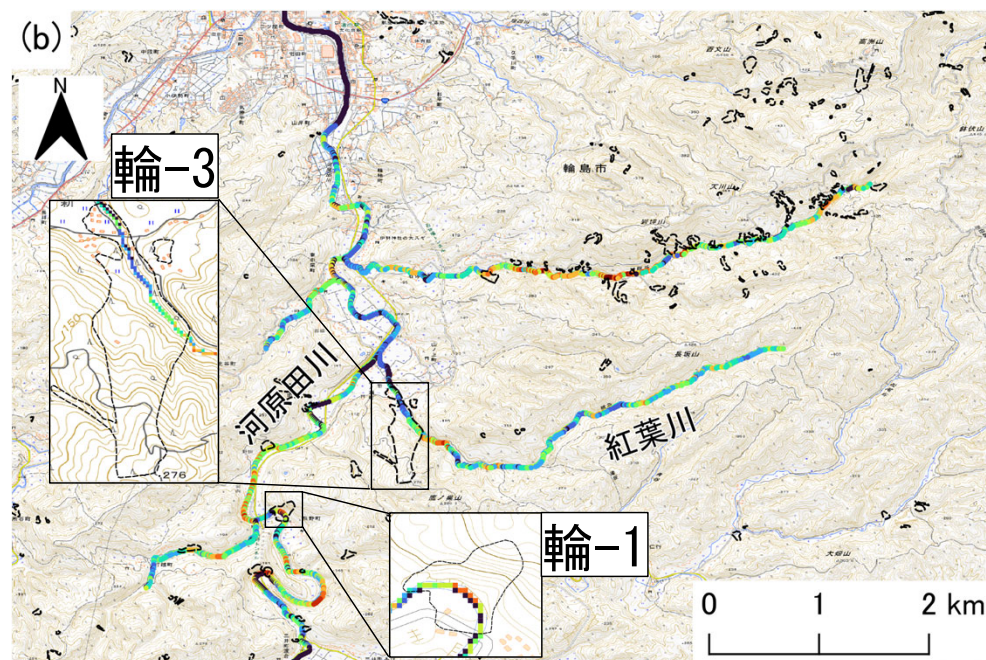
ランダムウォークの停止距離決定のイメージ (福田ら, 2005を参考に作成)

- 小山内ら(2007)を参考に、崩壊確率別の崩壊面積率を求めた（下図）
- 酒井ら(2013)の式は**六甲山以外の地域においても相対的な崩壊リスクを表わせる**といえる
- 能登半島への適用性については、能登半島における崩壊データから酒井らと同様の方法で回帰式を作成し、式(1)と比較することで議論できる
- しかし、今回は崩壊範囲と堆積範囲が区別されたデータを入手できず、回帰分析を行えなかったため、今後の課題とする

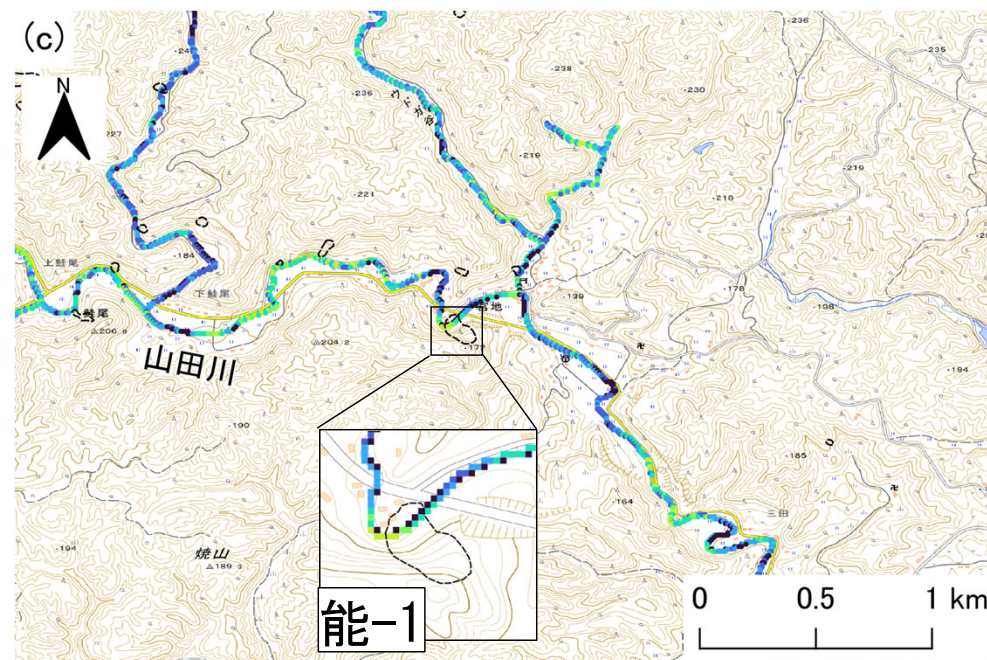


崩壊確率の精度検証結果

R6能登半島地震の河道閉塞箇所（河原田川，山田川）

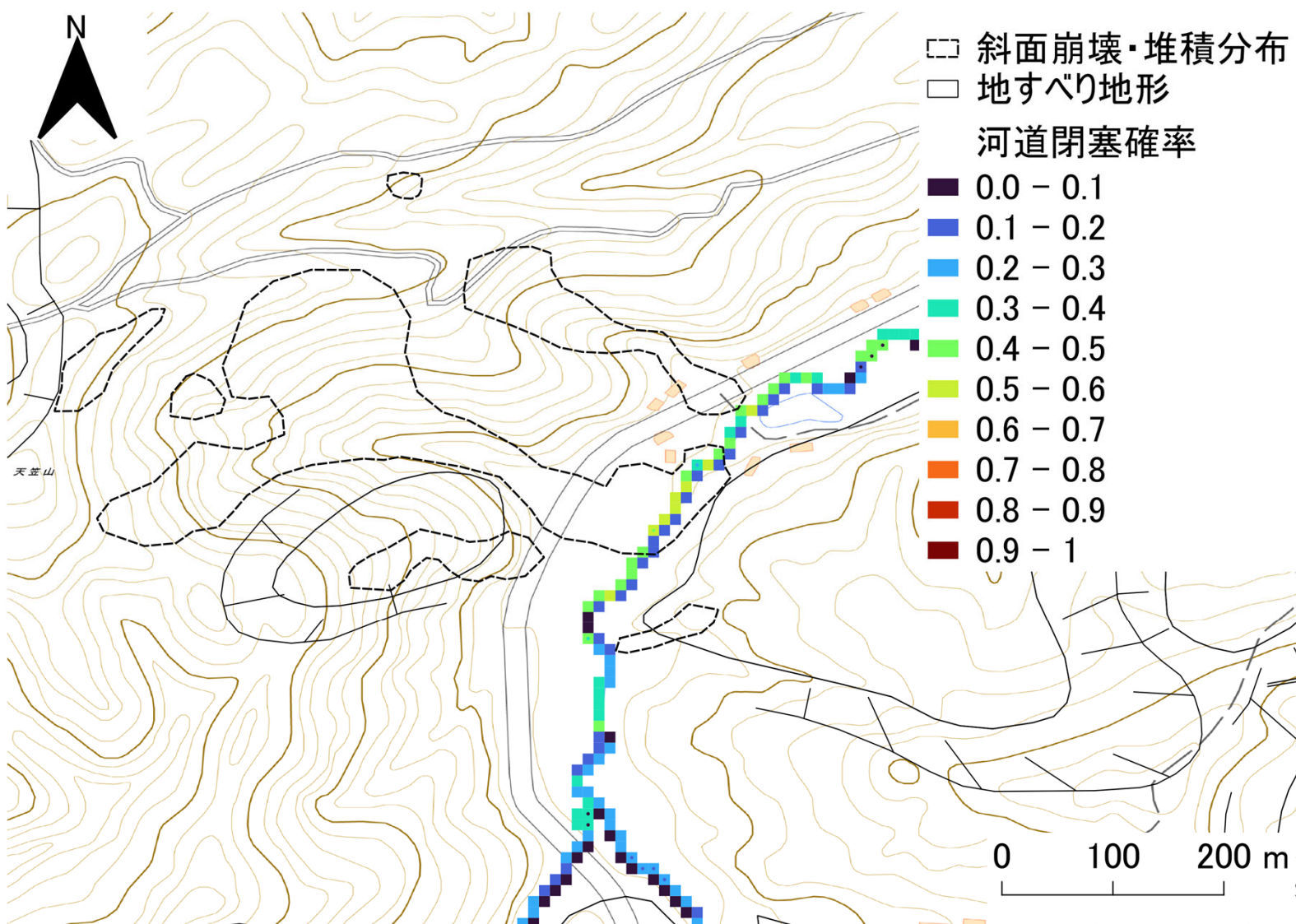


河原田川流域



山田川流域

地すべり起因の河道閉塞の予測精度（輪-2）



地すべり性の崩壊に起因する河道閉塞（輪-2）

斜面崩壊・堆積分布は国土
地理院(2024a), 地すべり地形
は防災科学技術研究所(2001)
を使用

- ・土砂災害防止広報センター：イラスト集, https://www.sabopc.or.jp/sozai/sozai_category/illust_cate/.
- ・国土交通省：令和6年能登半島地震に伴う河道閉塞（土砂ダム）の発生と対策状況について, https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000161.html.
- ・国土地理院a：令和6年(2024年)能登半島地震に関する情報（斜面崩壊・堆積分布データ）, 2024, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/2024_0101_noto_earthquake.html#6-1（2024年6月18日取得）.
- ・国土交通省：【資料2-2】能登半島での地震・大雨による被害とこれまでの対応, 能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策検討会（第1回）, 2025, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kentoukai/notes_kentoukai/dai01kai/index.html.
- ・内閣府首都直下地震モデル検討会：首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書（図表集）, 内閣府防災情報, 2013, <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/>.
- ・久保毅, 岩田幸泰, 城ヶ崎正人, 渡邊剛, 田端泰三, 内田太郎, 里深好文：1911年稗田山崩れによる河道閉塞形成過程の再現計算, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.35-42, 2017.
- ・内田太郎, 山越隆雄, 清水武志, 吉野弘祐, 木佐洋志, 石塚忠範：河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法, 土木技術資料, Vol.53, No.7, pp.18-23, 2011.
- ・酒井久和, 奥村誠, 塩飽拓司, 香川敬生, 長谷川浩一, 澤田純男, 多々納裕一：地震時における斜面の簡易信頼性評価法に関する基礎的研究, 土木学会論文集A1（構造・地震工学）, Vol.69, No.4, pp.I_142-I_147, 2013.
- ・福田徹也, 佐々木靖人, 脇坂安彦：表層崩壊による崩土到達範囲確率予測手法の開発, 応用地質学会誌, Vol.46, No.5, pp.265-279, 2005.
- ・国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ（DEM10B）, 2023, https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html（2024年5月8日取得）.
- ・構造計画研究所：QUIET+ QuakeMap（確定報）（2024/01/01 16:10 石川県能登地方）, <https://site.quietplus.kke.co.jp/>（2024年6月16日取得）.
- ・国立研究開発法人防災科学技術研究所：地すべり地形GISデータ（輪島東）, 地すべり地形分布図デジタルアーカイブ, 2001, https://dil-op.ac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/gis.html（2024年7月17日取得）.
- ・国土地理院b：令和6年（2024年）9月20日からの大雨に関する情報（斜面崩壊・土石流・堆積分布データ）, 2024, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R6_noto_heavyrain.html（2024年12月30日取得）.
- ・中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」：首都直下地震対策専門調査会報告, 2005.
- ・町田尚久：荒川上流部で寛保2年洪水時に複数形成された天然ダムの可能性, 砂防学会研究発表会概要集, pp.421-422, 2020.
- ・国土交通省関東地方整備局：二瀬ダム 定期報告書の概要, 第30回関東地方ダム等管理フォローアップ委員会, 2022.
- ・小山内信智, 内田太郎, 野呂智之, 山本悟, 小野田敏, 高山陶子, 戸村健太郎：既往崩壊事例から作成した地震時斜面崩壊発生危険度評価手法の新潟県中越地震への適用, 砂防学会誌, Vol.59, No.6, pp.60-65, 2007.