

38年後の崩壊跡地調査から推測した 花崗岩山地ゼロ次谷の流出機構

谷 誠

(元京都大学農学研究科)

太田 明

(元滋賀県森林センター)

小島永裕・鶴田健二

(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

問題意識

「降雨波形変換が主に鉛直不飽和浸透に支配される」仮説

(Tani et al., J. Hydrol., 2020)

土壌層発達過程でのパイプ等排水構造形成と関係？

詳細な観測結果からの
急峻ゼロ次谷の流出機構のレビュー

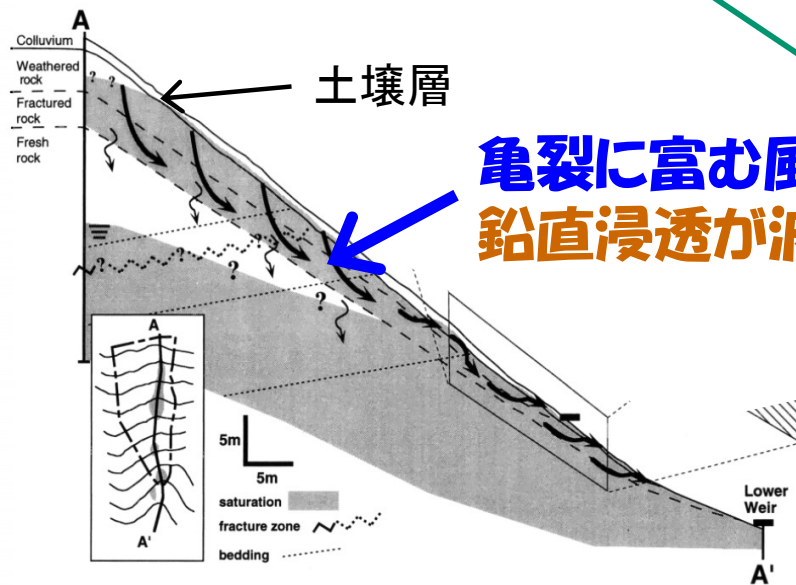
CB1の流出機構

米国オレゴン州の古第三紀層山地のゼロ次谷CB1 (43° 860m²)

人工降雨実験・トレーサー追跡

(Anderson et al., WRR, 1997)

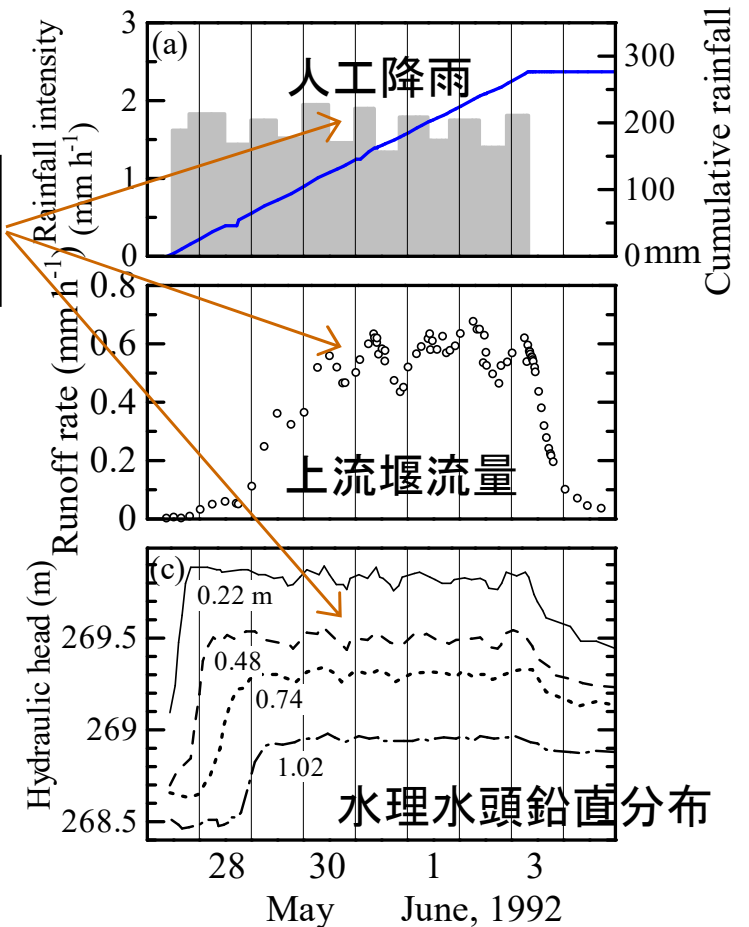
鉛直方向: 速やかな圧力水頭伝播
傾斜方向: 亀裂を通る高速排水



亀裂に富む風化基岩のため
鉛直浸透が波形変換を支配

CB1断面概念図

Anderson et al. (WRR, 1997) 一部改変

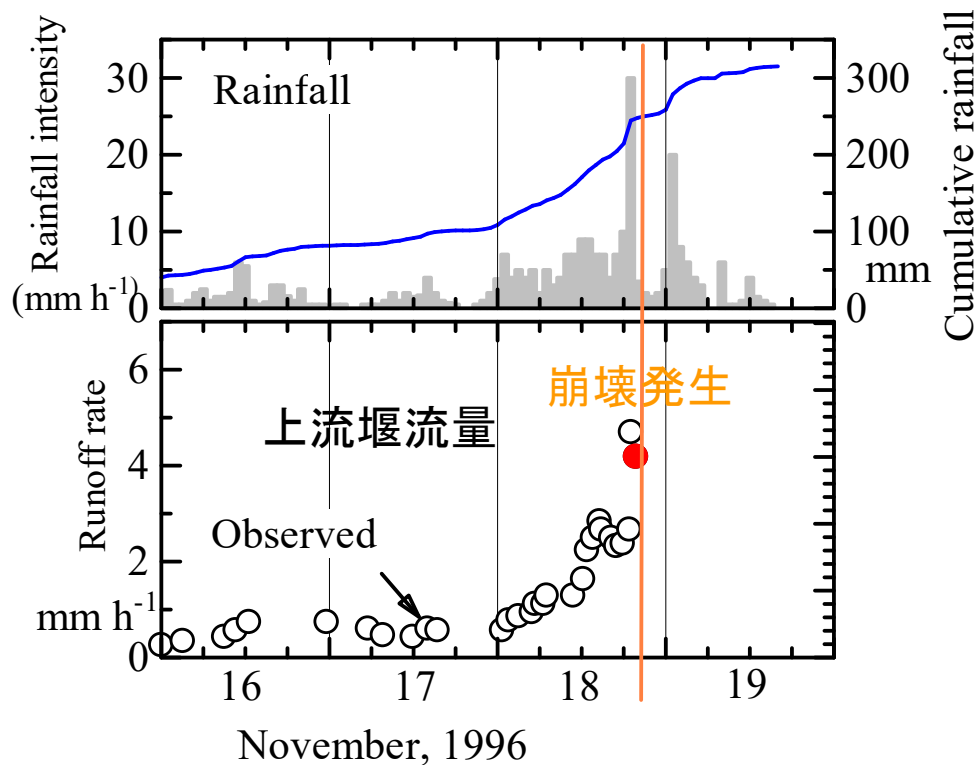
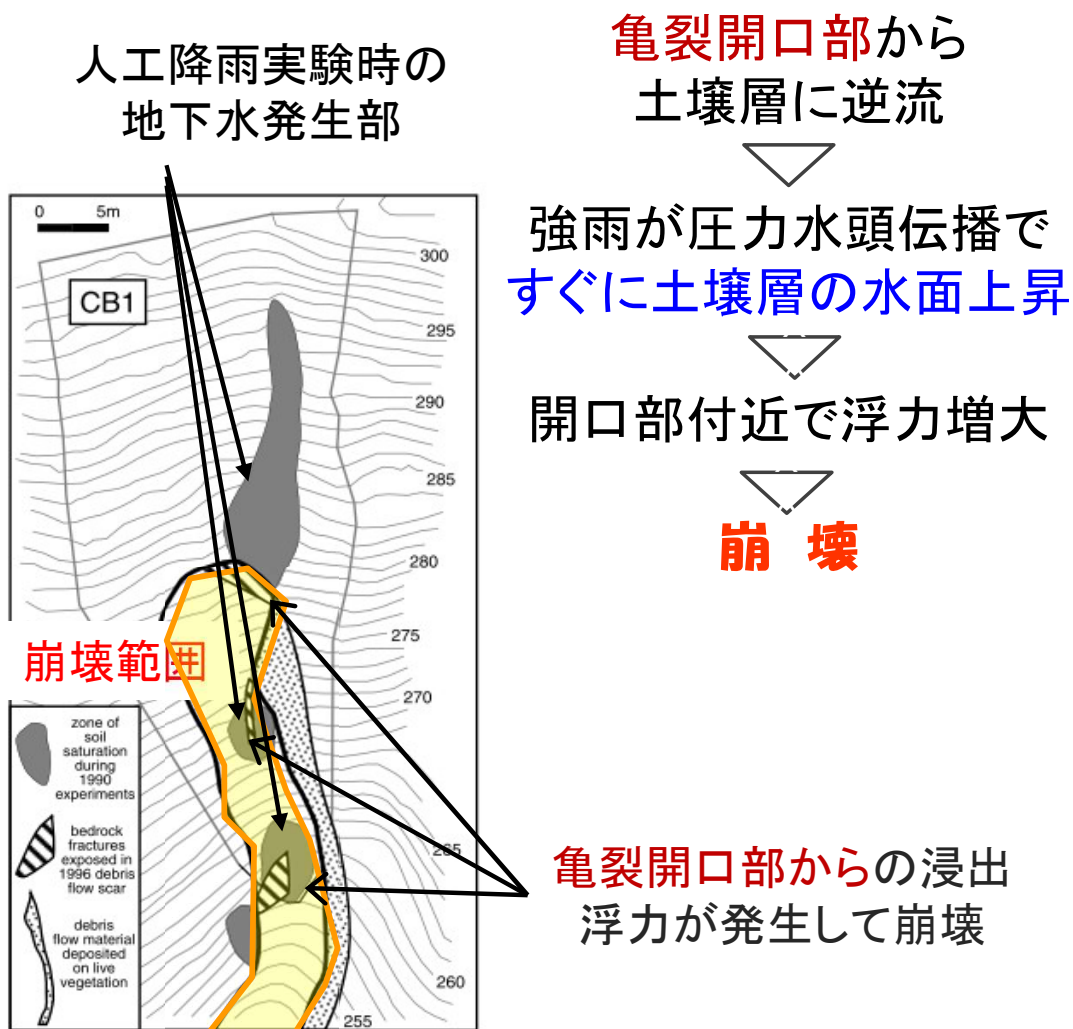


CB1での人工降雨実験

S. Andersonのご厚意による
水理水頭は、Ebel et al.
(Am. J. Sci., 2007)による

CB1の崩壊発生機構

人工降雨実験の4年後**土壌層の崩壊**が発生 (Montgomery et al., 2009)



崩壊発生イベントでの降雨・上流堰の流量

Montgomery et al. (2009)一部改変

CB1流域の崩壊発生

Montgomery et al. (2009)一部改変

崩壊しないための 流出機構

雨量指標からみた崩壊

土砂災害避難研究

(国交省砂防部の瀬尾ら、新砂防、1985; 気象庁の岡田、防災科研資料、2016など)

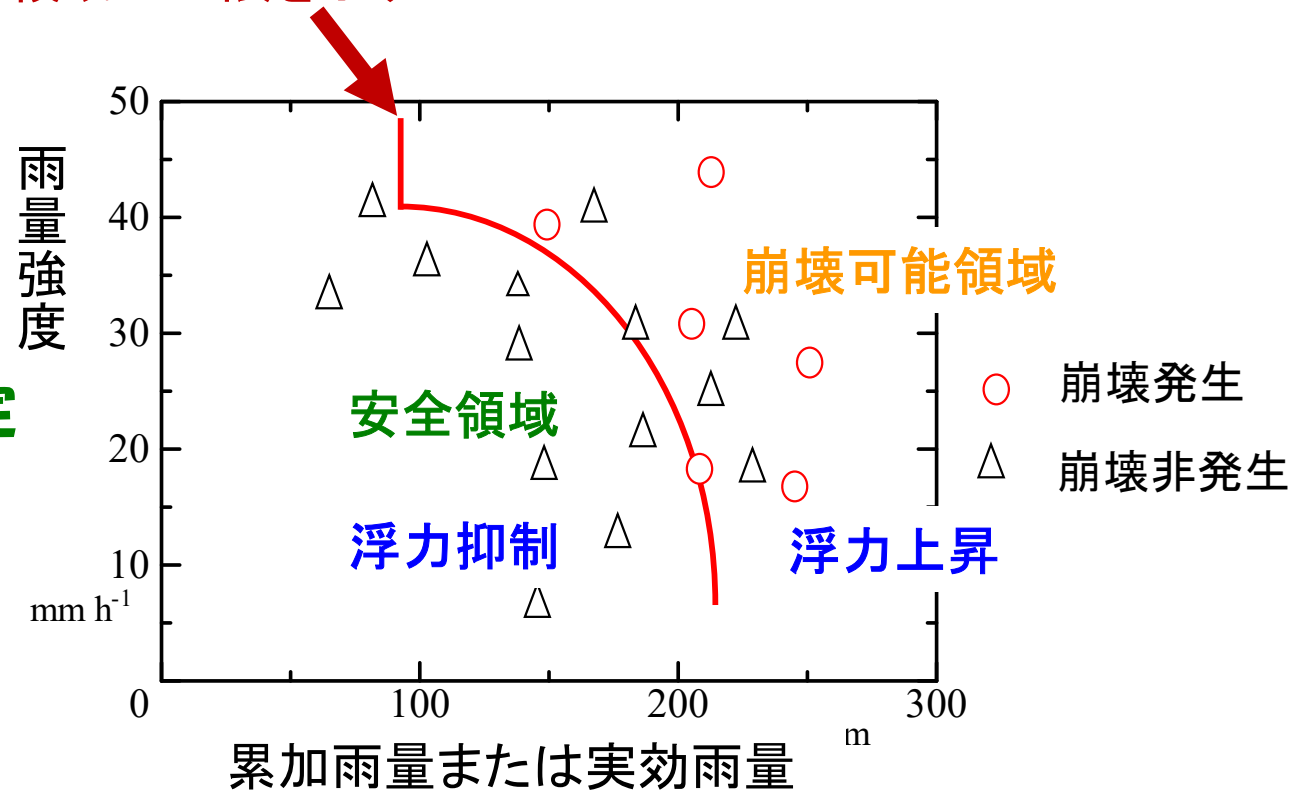
十分な雨量(累加雨量または実効雨量)があり、強雨直後に崩壊発生
だが崩壊しない斜面も多い
崩壊のない安全領域の上限を示す

土壤層は500年以上安定



浮力抑制

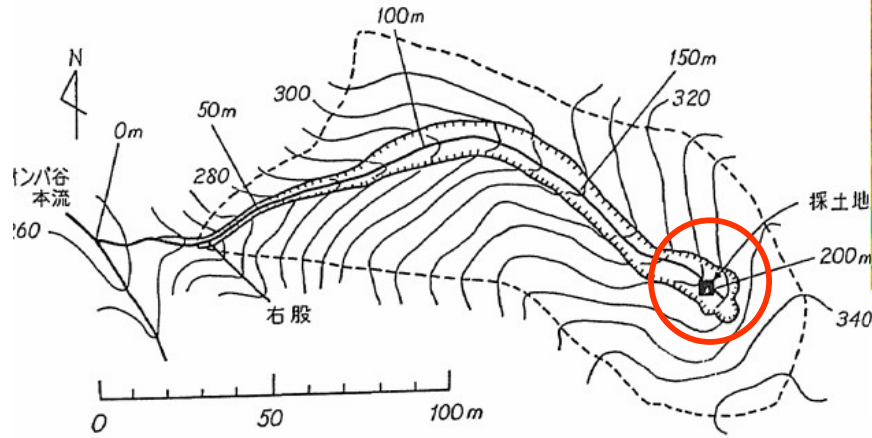
排水による浮力抑制が
流出機構の前提



花崗岩山地の崩壊跡地の経過観察

風化花崗岩山地での崩壊跡地調査

滋賀県田上山地: 1982年8月に大雨
ゼロ次谷(オンバ谷A沢)で崩壊



オンバ谷A沢 谷ら(新砂防、1988)より

直後に調査実施 (谷ら、新砂防、1988)

2007年現状観察

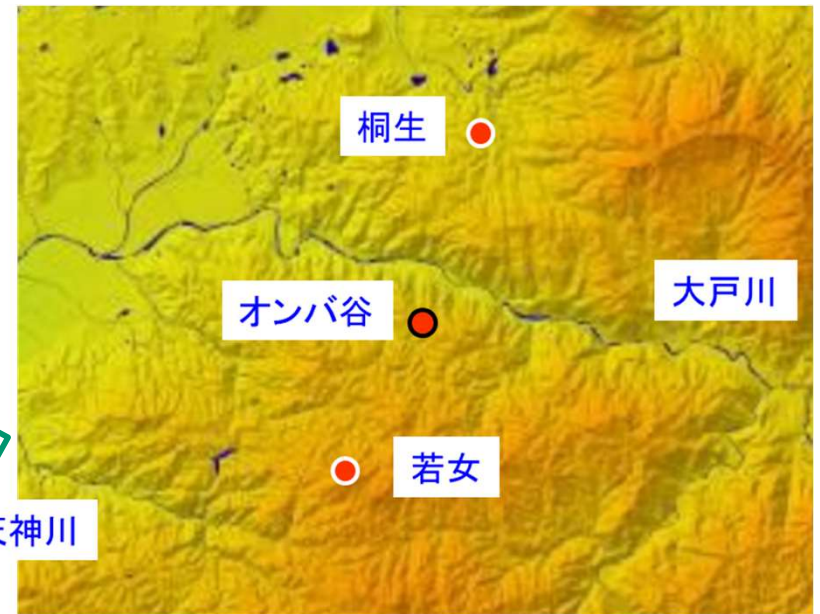
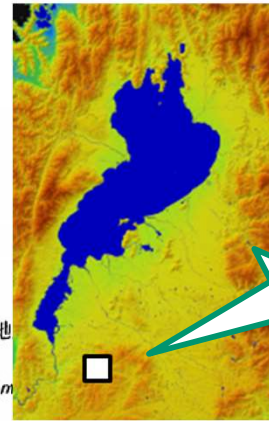
2020年に植生調査

崩壊発生大雨の水文データ

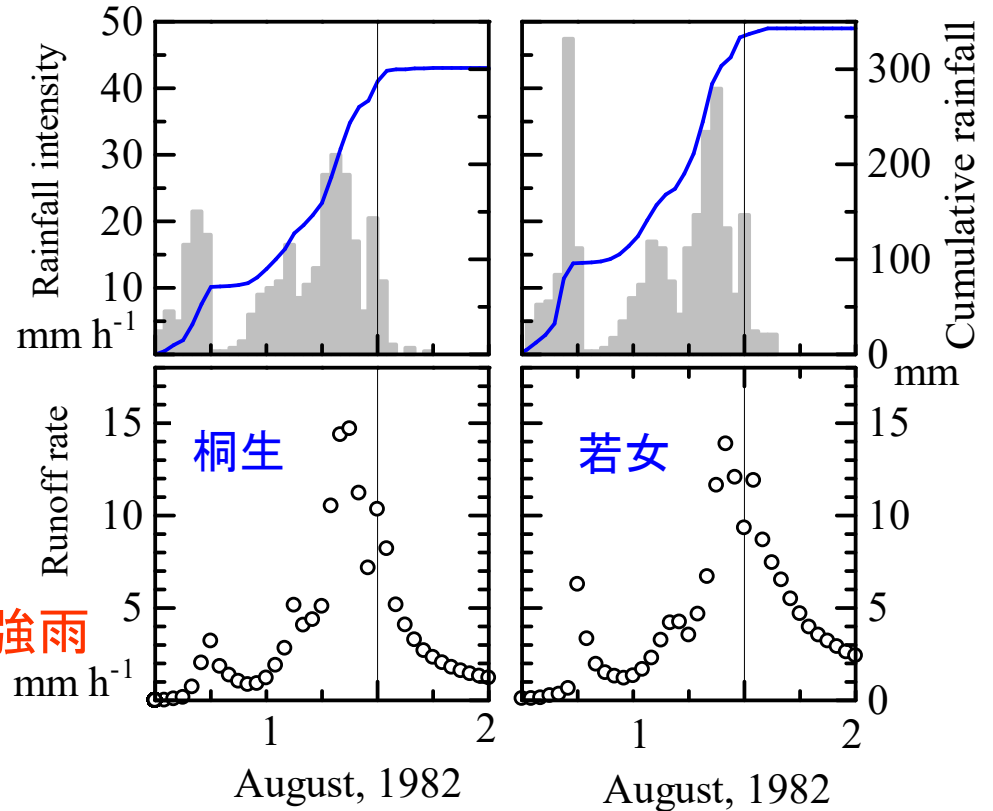
桐生: 京都大学森林水文学研究室

若女: 建設省琵琶湖工事事務所

250mm程度の累加雨量後に強雨

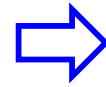


国土地理院デジタル標高地形図による 1km



崩壊跡地の38年の変化

崩壊直後：全体が裸地
水流の後がみえる



25年後：島状に草本が侵入、裸地が残る
樹木はまばら



38年後、草本でおおわれる
樹木はまばら



鈴木雅一氏提供

1982年



2007年



2020年

崩壊跡地の38年後の植生調査

ブラウン・ブランケ法による植生調査を実施

滑落崖にはパイプ吹き出し口
その下側に風化岩露出が残る

草の根は太くならないので
水流の侵食力に勝てない



吹き出し口



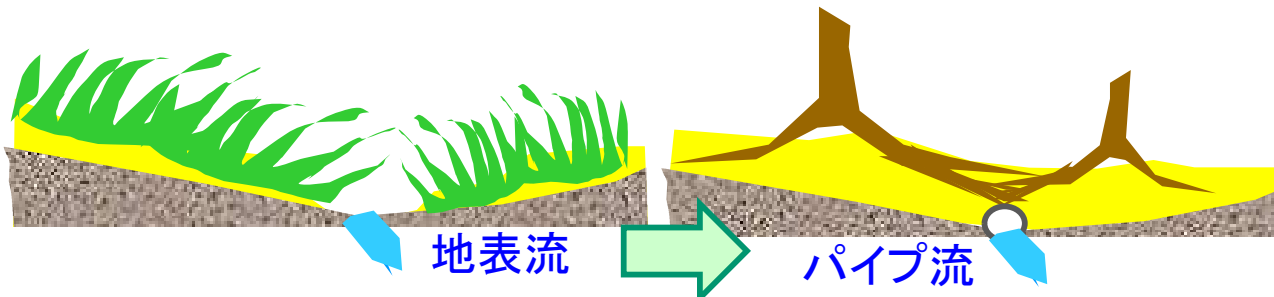
土壌がない風化岩露出

		被度	群度
高木層>5m	なし		
亜高木層2-5m	ナツハゼ	3	1
低木層0.7-2m	クロモジ	1	1
	ウラジロ	5	4
	ネザサ	2	2
	シンガシラ	+	1
草本層<0.7m	リョウブ	+	1
	ヤマツツジ	+	1
	ヒノキ	+	1
	ヒサカキ	+	1
	シラカシ	+	1

被度

群度

- | | |
|-----------|--------------------------|
| 5:75-100% | 5:カーペット状で調査区
全域を覆う |
| 4:50-75% | 4:大きな斑紋状・切れ切れの
カーペット状 |
| 3:25-50% | 3:小群の斑紋状 |
| 2:5-25% | 2:小群 |
| 1:5%以下 | 1:単生 |
| +:1%以下 | |



木の根は太く成長して土を固定できるのではないか？

次世代研究者に継続調査を期待

土壌層と森林が再生

地表面流はパイプ流へ

流出空間形成の歴史

森林と土壌層と排水路の共進化

土の移動形態 (松四ら、地形、2016など)

尾根から凹地部へのクリープ移動

凹地部での集積と崩壊による排除



CB1事例・雨量指標

凹地部での浮力が崩壊と安定を律速



オンバ谷38年の観察

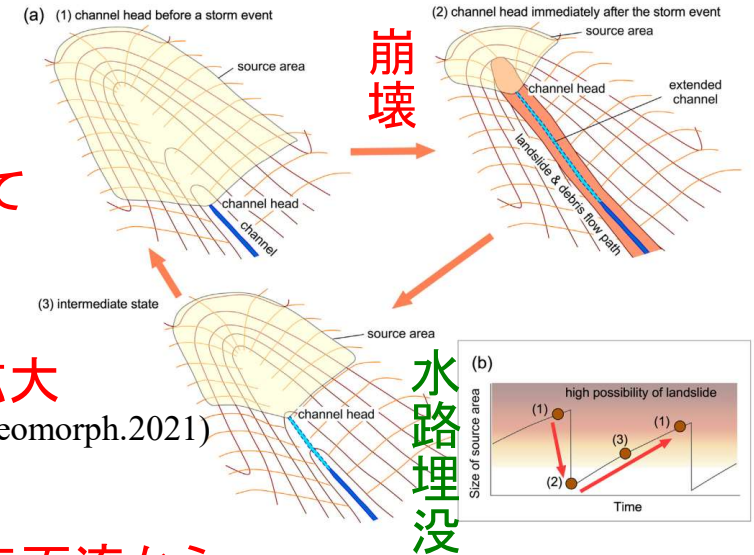
崩壊跡地の凹地部に地表面流が残る

斜面微地形にしたがう

崩壊によって
1次谷の
水路頭が
ゼロ次谷へ拡大

(Hattanji et al., Geomorph.2021)

排水路は表面流から
土壌パイプへ



水はつねに凹地部に集まる

土壌層発達は樹木根系・排水を必要条件

流出機構に反映

流出機構を反映した流出モデル

流出モデルの提示

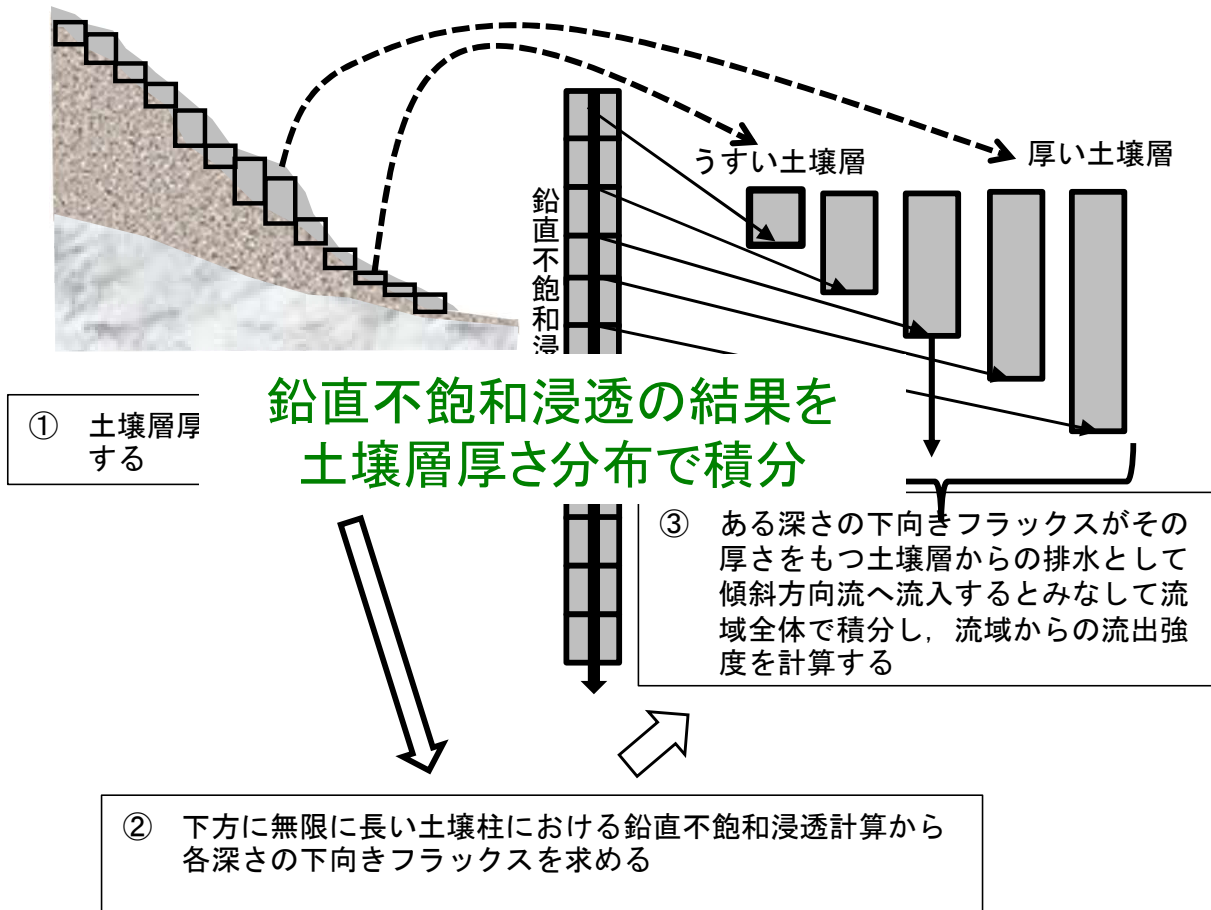
高い排水能力は土壌層の長期安定の必要条件

鉛直不飽和浸透過程が降雨流出応答を主に支配する

(Tani et al., J. Hydrol., 2020)

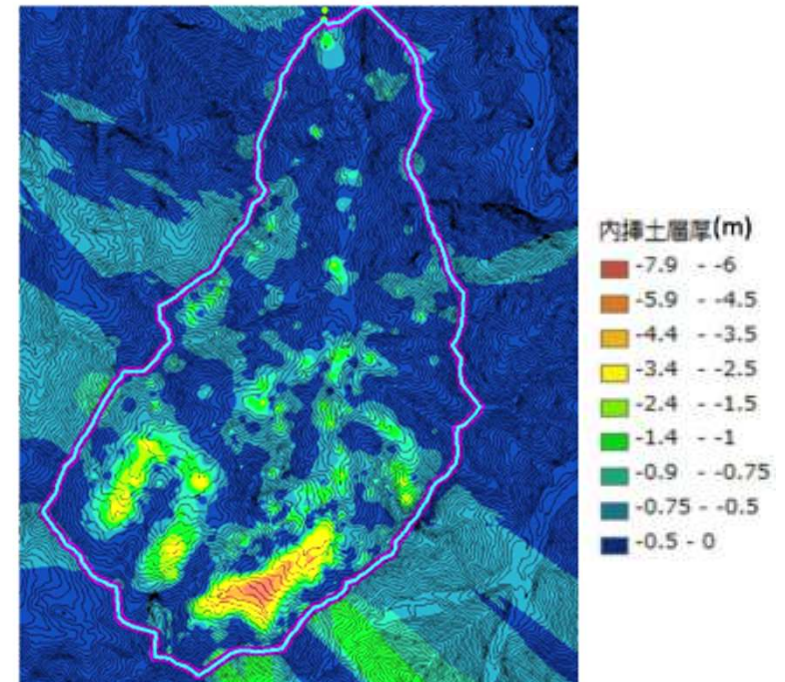
VZモデル(vadose zone)提示

(谷, 水文・水資源学会誌, 印刷中)



VZモデル概念図

CB1と桐生は土壌の厚さ分布と土壌物理性のデータがある

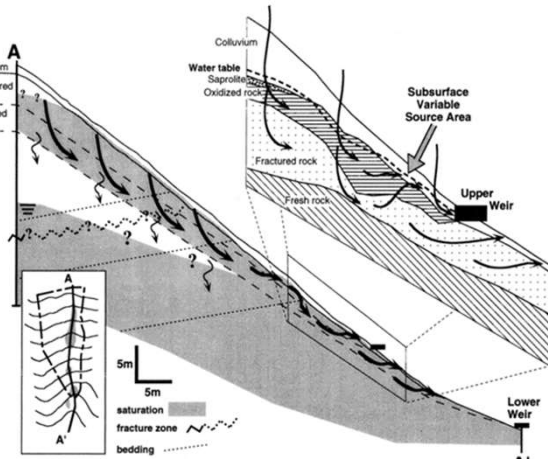
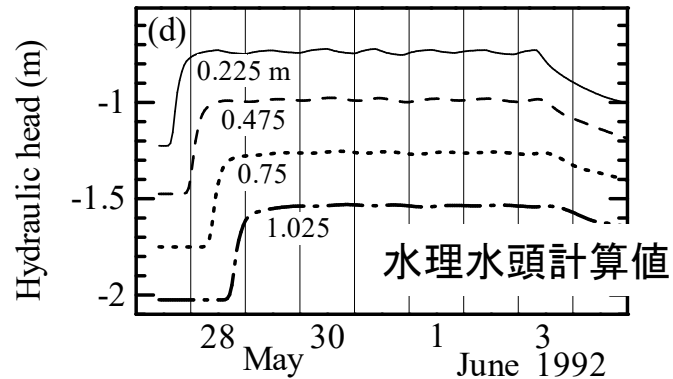
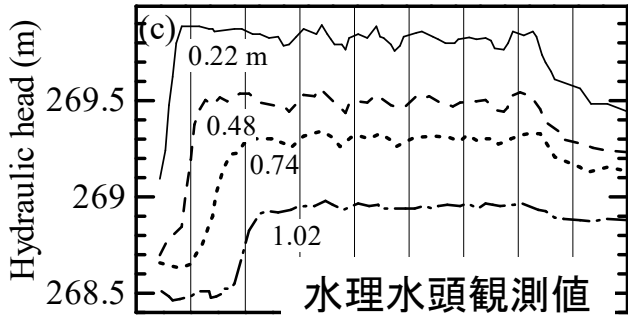
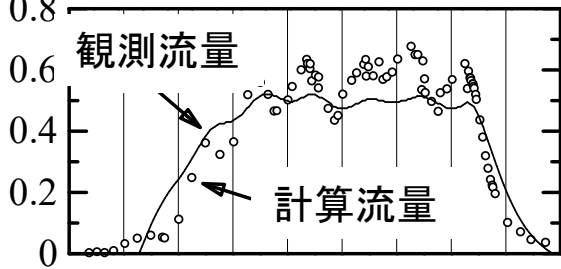
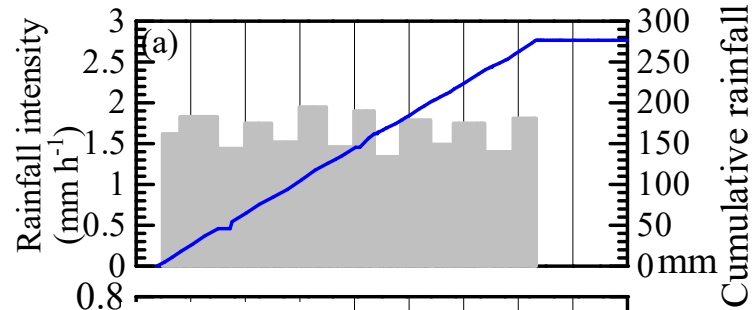


桐生試験地の土壌層厚さ分布

(Katsuyama and Nagano, unpublished)

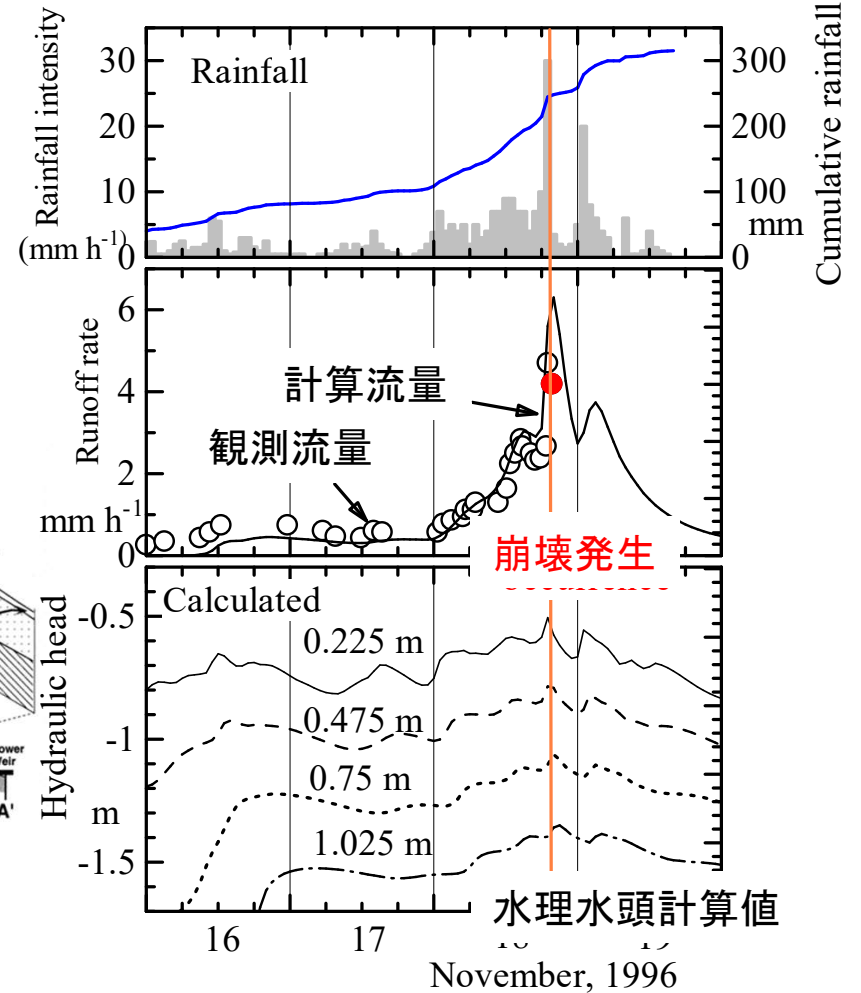
CB1への適用

人工降雨実験)の降雨に適用



鉛直浸透+亀裂排水

崩壊発生時の
大雨にも適用



前半はウェッティングフロントの効果による遅れ
湿潤な後半は、遅れがほとんどなく流量ピークを生み出す

谷(水文学会誌、印刷中)より一部改変

桐生への適用

オンバ谷崩壊発生の大雨に適用

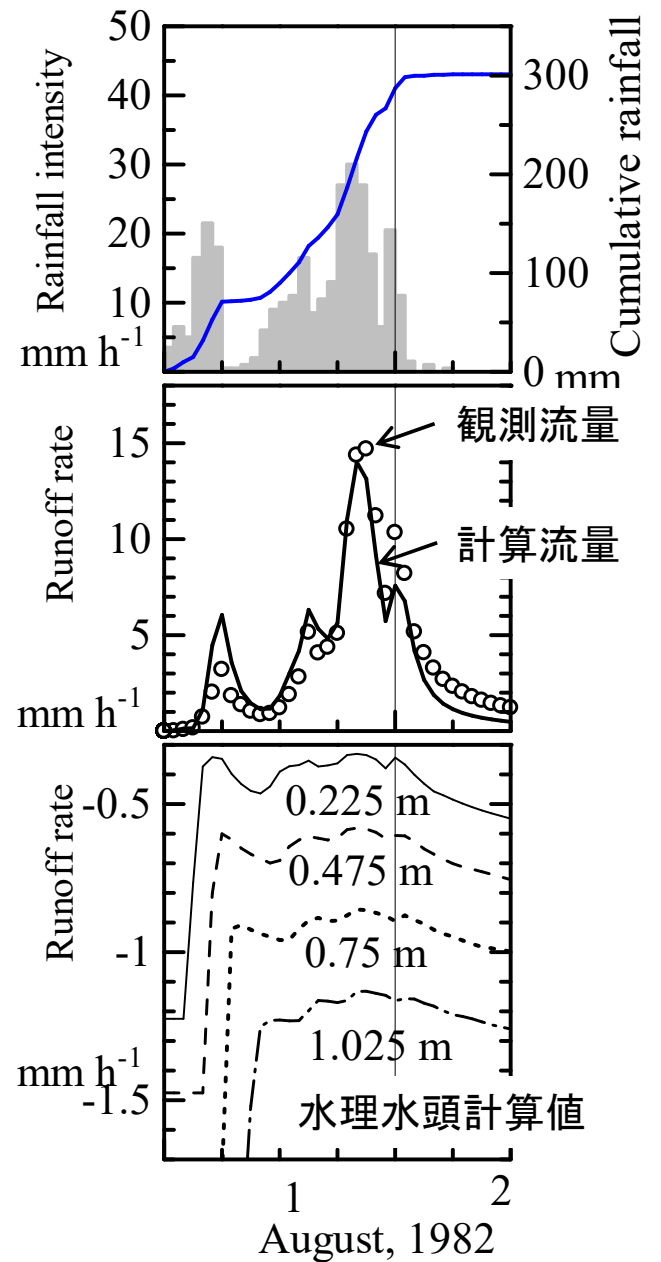
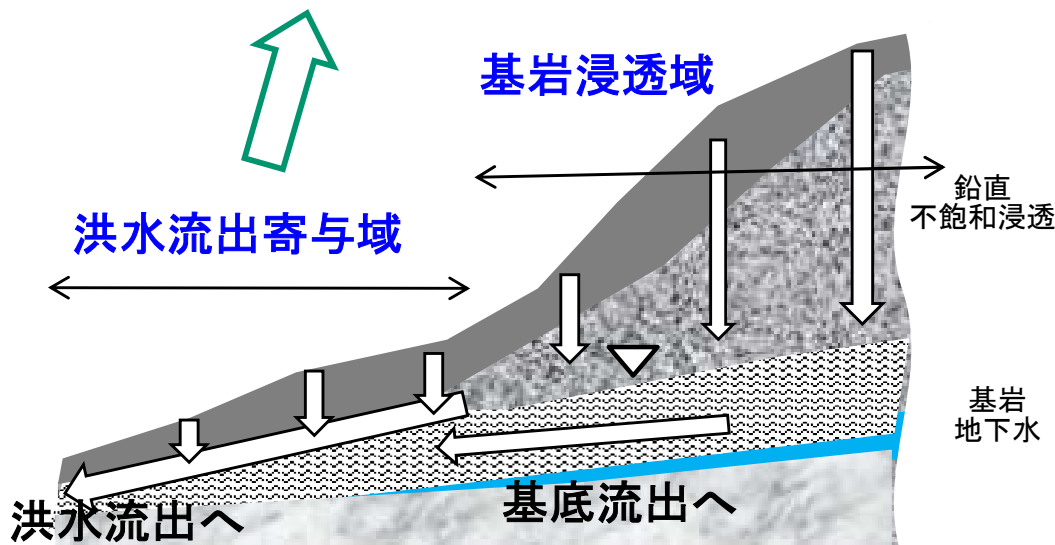
強風化基岩の飽和透水係数が4mm/h程度で
基岩における貯留変動が大きいため
 基底流成分を涵養する

(Kosugi et al., WRR, 2006; 2011; Katsura et al., Vadose zone J., 2005)

ただし、ゼロ次谷下部では地下水面が浅く傾斜方向へ

(Katsura et al., J. Hydrol. 2014)

**鉛直浸透流強度の流域積分の
 半分だけが流出すると仮定**



計算流量の半分と観測流量の比較
 谷(水文学会誌、印刷中)より一部改変

図3. 花崗岩山地ゼロ次谷における降雨時の流出機構概念図

まとめ

問題提起： 大雨時の降雨波形変換は、
主に鉛直不飽和浸透に支配される可能性 (Tani et al., J. Hydrol., 2020)
では、なぜ、傾斜方向の流れの効果が小さいのか？

CB1では、基岩亀裂が傾斜方向への地下水の排水を担っていた
十分な累加雨量後に強雨があると排水限界を超えることで崩壊が発生する

この結果をふまえ、風化花崗岩山地での崩壊跡地の観察を行った
崩壊跡に地表面流が流れる凹地部では土壌層の再生が遅れる
パイプを含む不均質構造は微地形による必然性がある

急斜面上では、森林と土壌層と排水構造が共進化する

波形変換が鉛直不飽和浸透に支配される流出機構は、
速やかな排水を伴う地下構造の長期発達過程と整合性がある

謝辞

本研究は、研究グループ「山地流出過程と地形発達過程の整合性を考える研究会」における討議に負うところが大きい。とくに地形学ご専門の飯田智之氏(元防災科研)、松四雄騎氏(京大)、八反地剛氏(筑波大)、齊藤隆志氏(京大)に教えていただくことが多かった。記して感謝いたします。