



地生態学的視点から
見た斜面災害

山口大学大学院創成科学研究科理学系
地球科学分野

太田 岳洋



目次



1. はじめに
2. 斜面の地生態学
3. 地生態学的視点から見た災害地質
 - I. 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討
 - II. 落石発生要因としての根系貫入の可能性
4. まとめ－災害地質学への定量的地生態学の適用の必要性





1. はじめに

- 自然斜面の崩壊や落石，土石流等の発生には，地形・地質条件のほかに地下水条件や植生，人工改変などの環境条件が関与すると考えられる。
- 自然災害に対して、それを克服あるいはそれと共存して持続可能な社会を構築するためには，諸現象のメカニズムを解明し，問題の解決策を提案できる総合的な科学が必要である。
- 地生態学では，地域の自然環境を一連の系として把握する。
- 地生態学を総合的な科学と考えると，その方法は自然災害を考えるうえで重要な方法となり得る。



1. はじめに

• 地生態学的研究とは？

- ① 景観単位を分類しその規程要因を分析する景観分析の研究
- ② 景観内部の互いに錯綜する地因子の相互関係の分析，類型化，系統化を進める研究
- ③ 地質，地形，植生の関係性を議論する植生地理学研究

■ 災害に関する調査を行う際の現地における**感覚的な災害に対する危険性の理解**

- その場の景観を観察したときに，その景観を構成する諸要素を定性的に理解し，その結果に基づく判断
- 災害地質学研究は地生態学的研究手法を内在
- 景観構成要素の相互作用を理解による災害につながる景観の分類
- 地生態学的研究の①，②に相当



2. 斜面の地生態学

• 斜面における一般的な地生態学的関係

- i. 土壌の植物による安定性の変化とその根系による風化過程（物理的、化学的ともに）とはポジティブ・フィードバックの関係
- ii. 局所気候の相違が斜面における動植物の分布に強く影響
- iii. 斜面の高度により表層物質が異なるため、それに応じた植生が分布

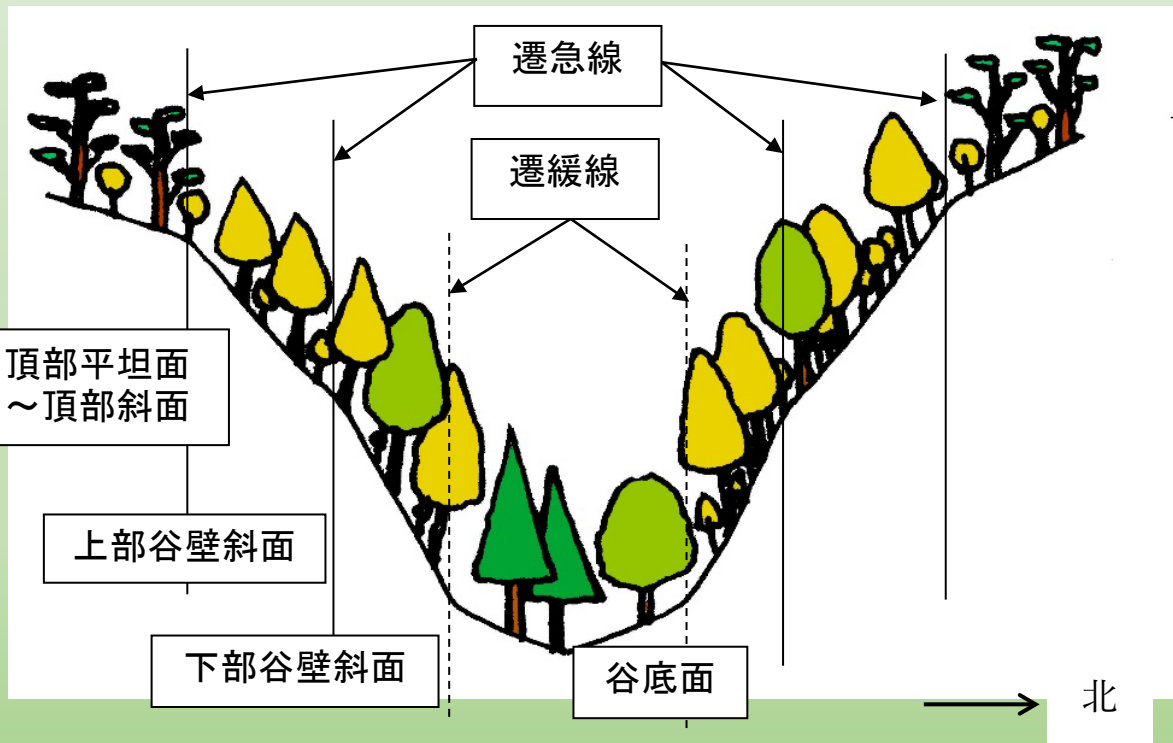
□ 植生は山腹斜面における地形を考えるうえで、重要な因子のひとつ



2. 斜面の地生態学

・斜面の微地形と植生

- ・ 北部北上山地の例（太田他，2008）
 - ・ 中生代ペルム紀～三畳紀 頁岩、砂岩、チャート



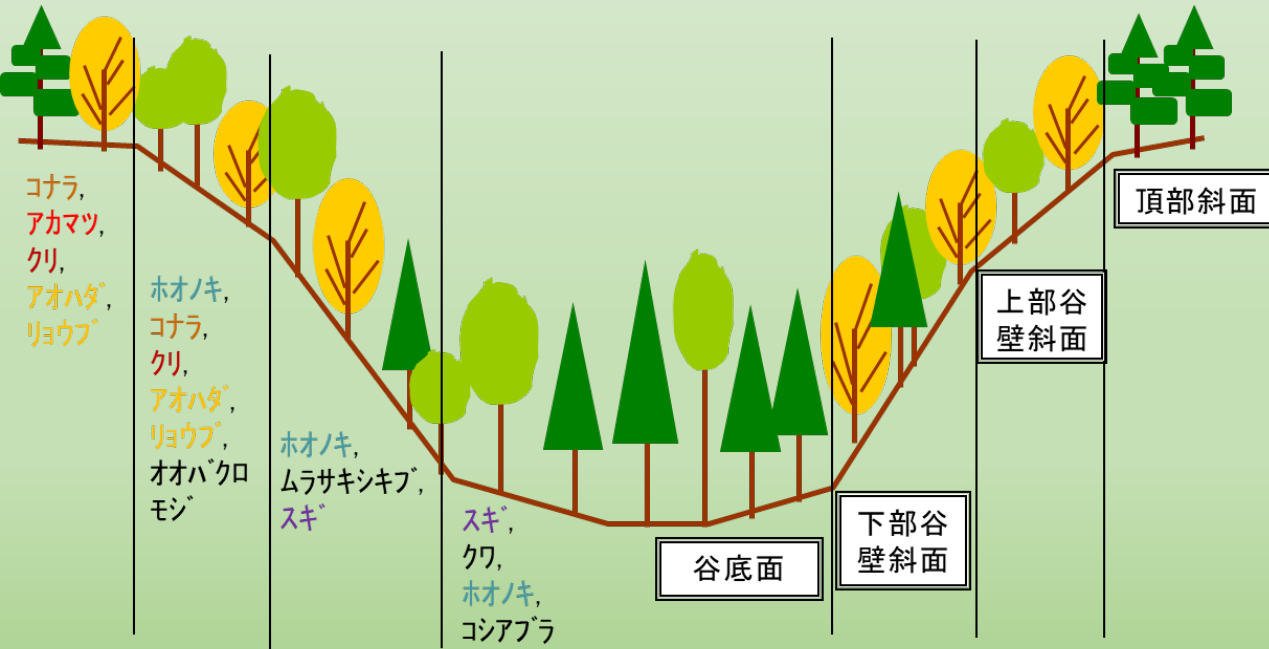
微地形単位	斜面方向	主な構成樹種
頂部平坦面～ 頂部斜面		アカマツ, コナラ, カエデ類, ツツジ類, ミズナラ
上部谷壁斜面	南向き斜面	コナラ, カエデ類, マルバマンサク, ミズナラ, カンバ類, タカノツメ
	北向き斜面	コナラ, オオヤマザクラ, アカシデ, ガマズミ, ミズナラ
下部谷壁斜面	南向き斜面	コナラ, ケヤキ, ホオノキ, クリ, コシアブラ, サワグルミ, ムラサキシキブ
	北向き斜面	コナラ, サクラ類, ケヤキ, クリ, サワグルミ, ハクウンボク, ヤマグワ
谷頭凹地および 下部谷壁凹斜面 (崩壊跡地)		ヤマブキ, サワグルミ, ケヤキ, アズキナシ, ウリハダカエデ
谷底面		スギ(植林), ヒノキ(植林), ケヤキ, サワグルミ, トチノキ, ホオノキ, クリ, カツラ, ハリギリ, サワシバ, コクサギ, ミツバウツギ



2. 斜面の地生態学

・ 斜面の微地形と植生

- ・ 秋田内陸部の例（太田私信）
 - ・ 新生代新第三紀 砂層、シルト層



区分	模式断面図	地形状況	浸食状況	植生の特徴
上流		緩斜面谷型斜面。水系の流路は不明瞭。	表流水による浸食はほとんどない。 比較的安定状態。	尾根部にアカマツ、斜面にコナラ、ヤマザクラ、ササ(疎)、谷底にミズナラなどの大木
中流		谷底に平坦地はなく狭い流路があり、斜面部は急傾斜でV字谷状を呈する。	表流水による下刻が進む。 遷急線が後退中で、斜面崩壊など多発。 活発な浸食活動。	斜面にコナラなど落葉広葉樹群落 谷底にササ(密)
下流		谷底平坦地が広く、遷急線は斜面最上部に連続する。	側方浸食後、平衡状態。 遷急線の後退も遅い。	斜面にコナラなど落葉広葉樹群落 谷底にヨシなど、湿地生植物。



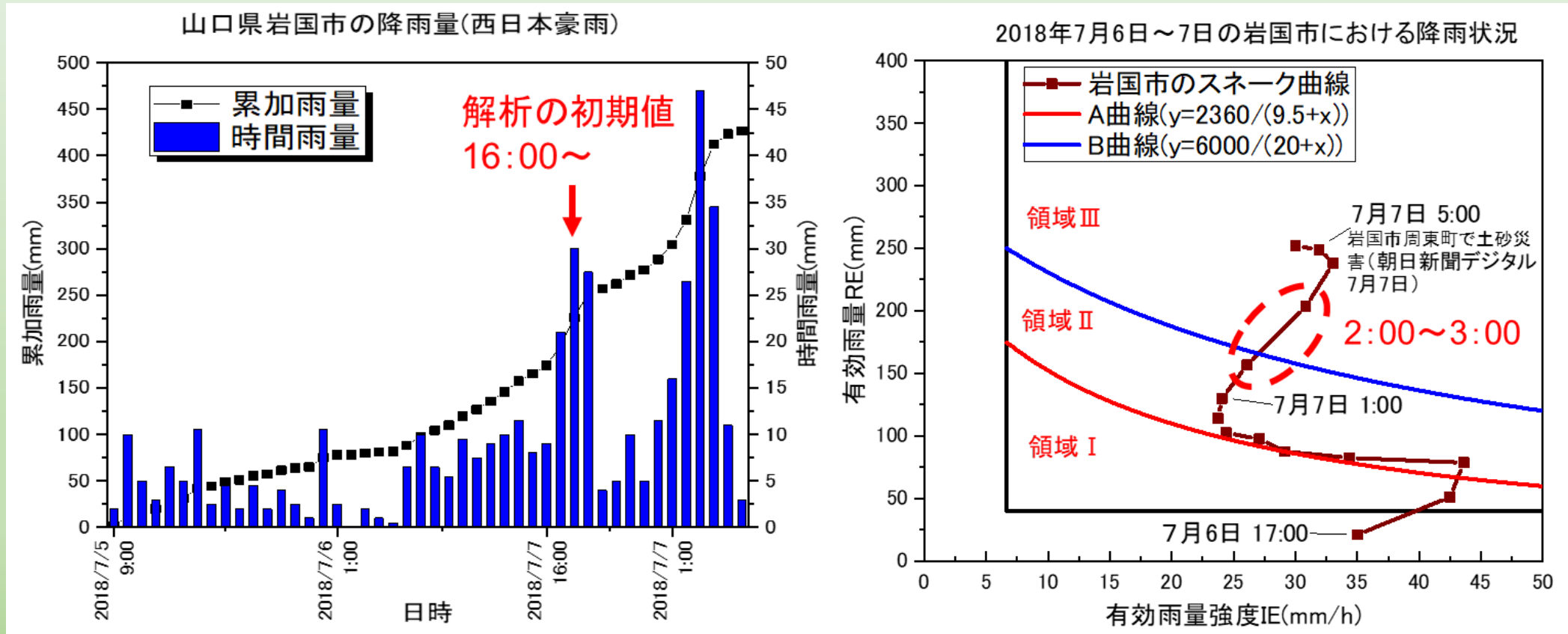
3. 地生態学的視点から見た災害地質

- 樹木根による斜面の崩壊抑止効果が影響している（太田・石田，1974；塚本，1987；稲垣，1999,2000など）
 - 伐採後から幼齢林の間に災害が増加し，DEMによる地形量と植生状況を合わせて災害発生を予測できる（太田他，2008）
 - 根系の斜面崩壊抑制機能の力学的評価方法の提案（今井，2008）
- I. 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討
 - II. 落石発生要因としての根系貫入の可能性



3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討

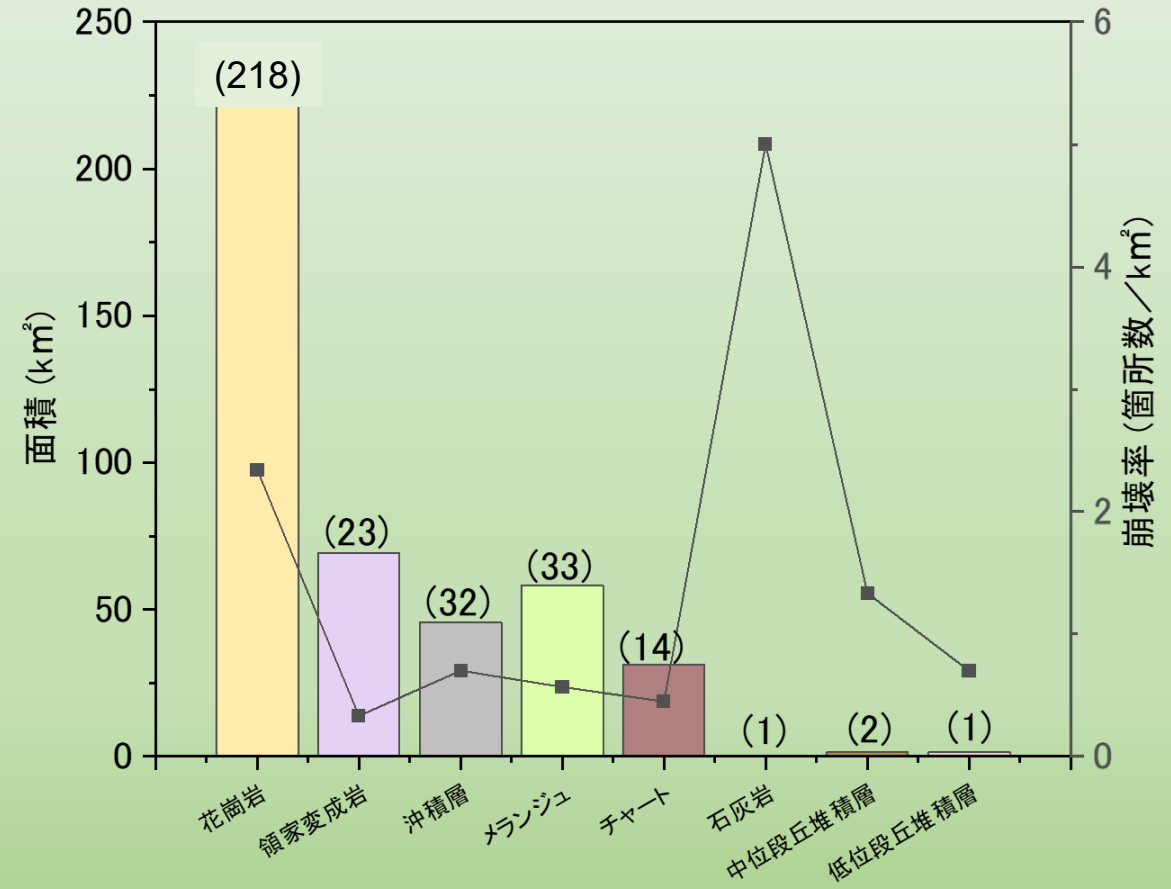
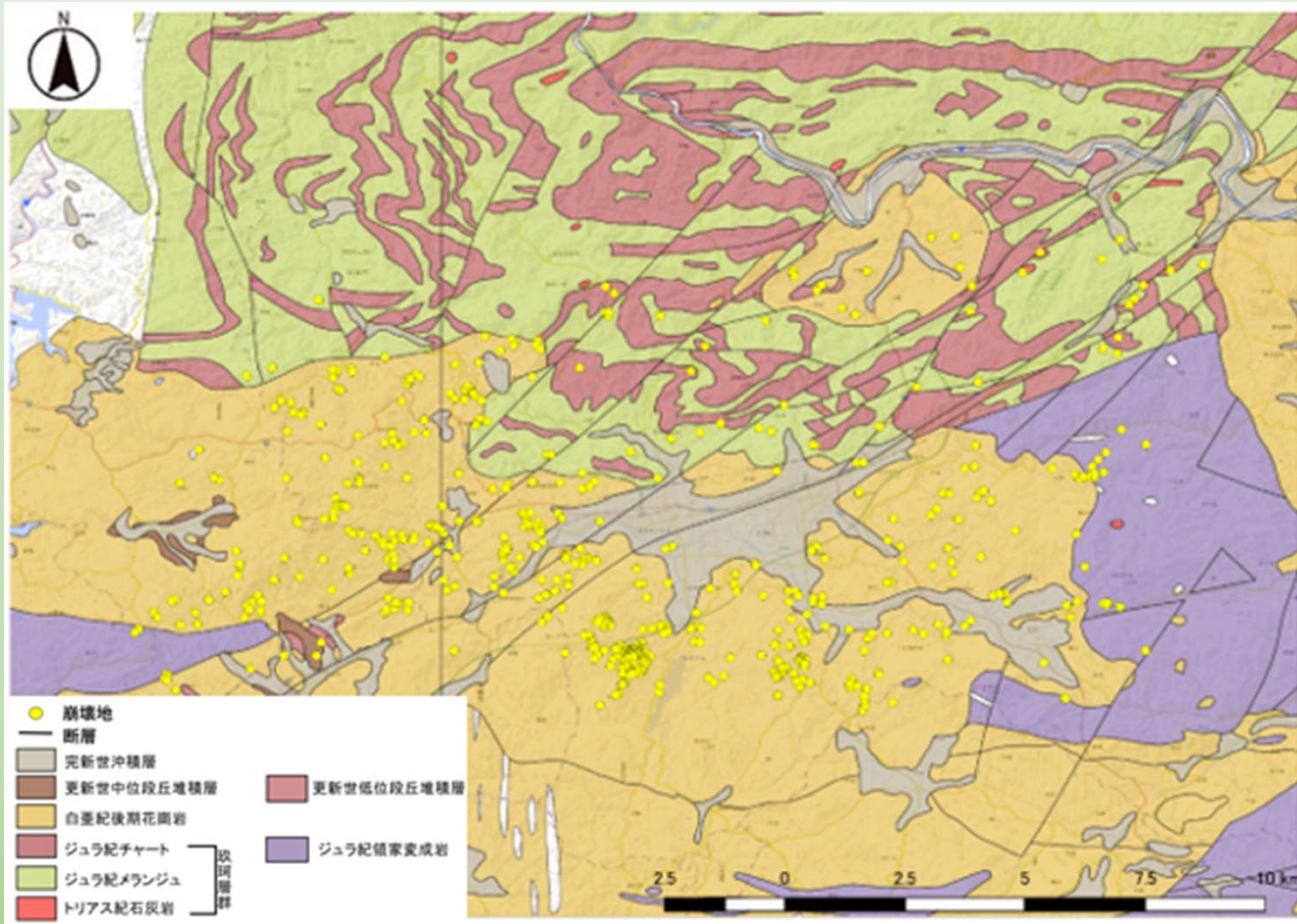
• 平成30年7月豪雨における山口県岩国市周辺の斜面崩壊





3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討

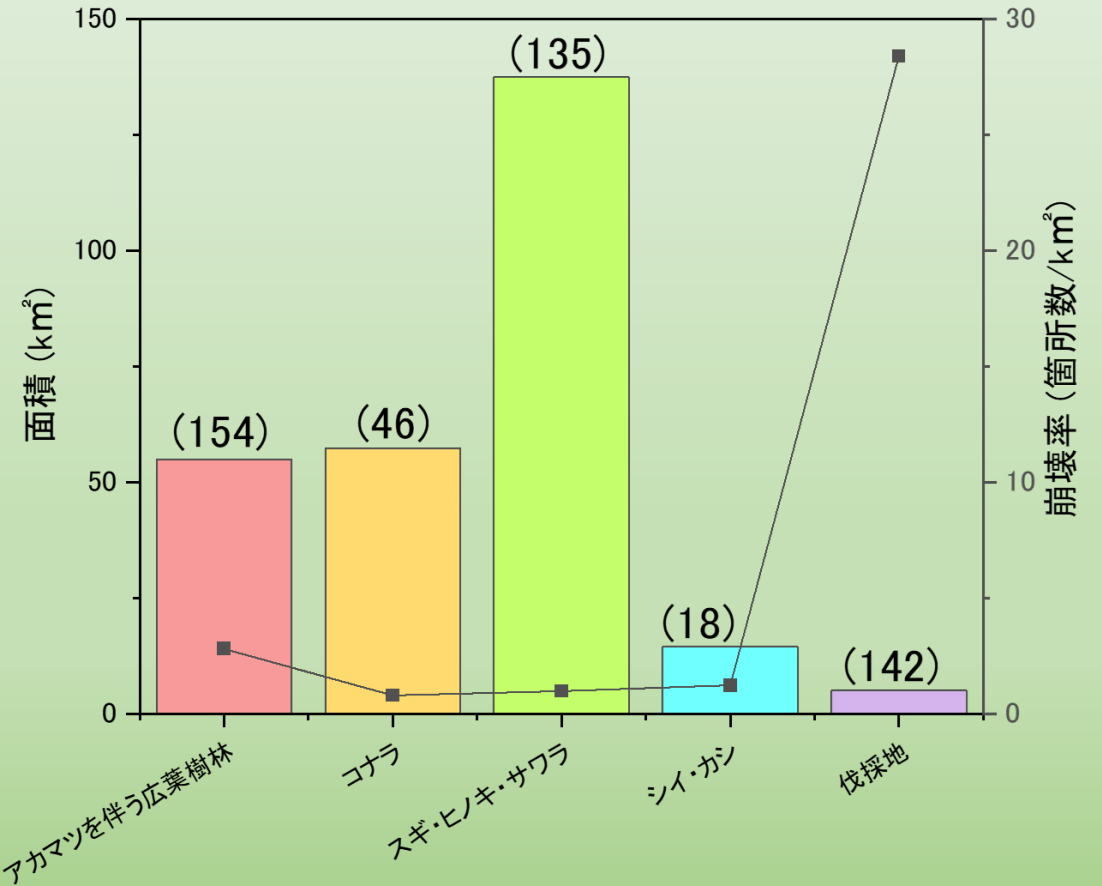
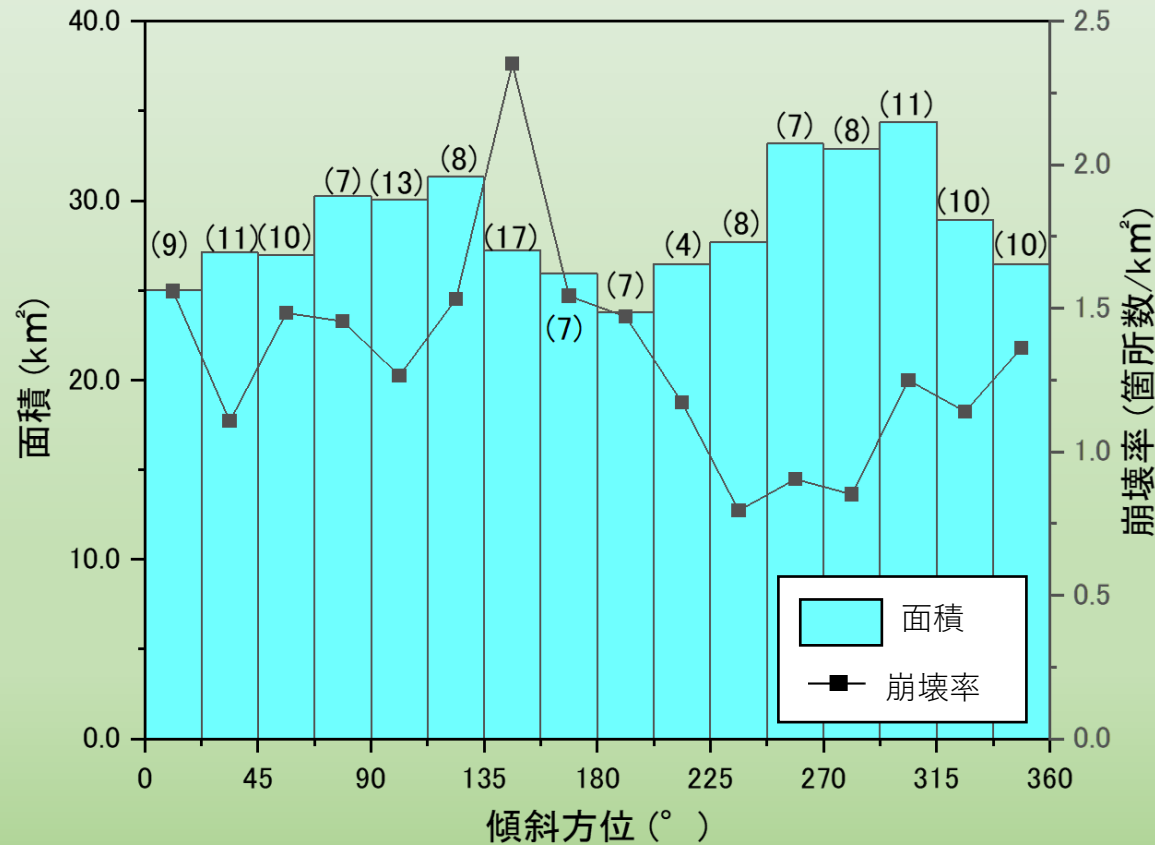
・平成30年7月豪雨における山口県岩国市周辺の斜面崩壊





3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討

・平成30年7月豪雨における山口県岩国市周辺の斜面崩壊



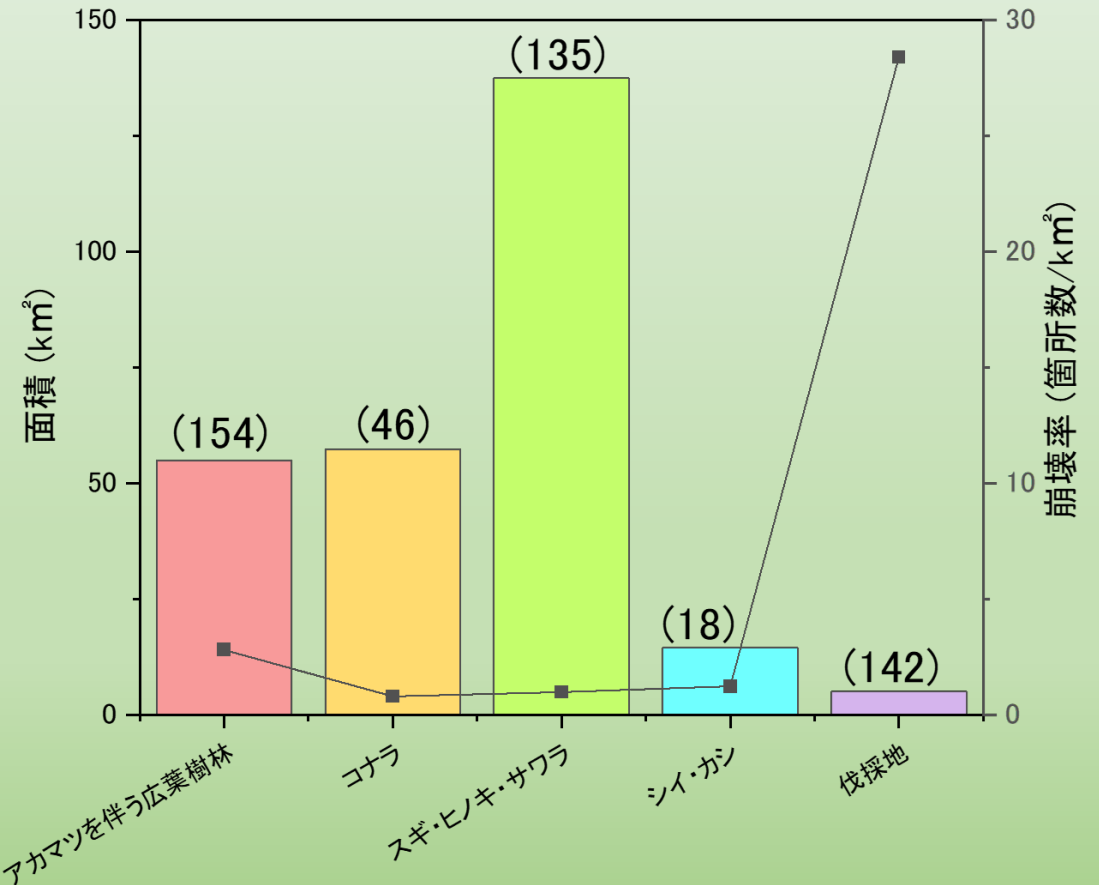


3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討

• 平成30年7月豪雨における山口県岩国市周辺の斜面崩壊

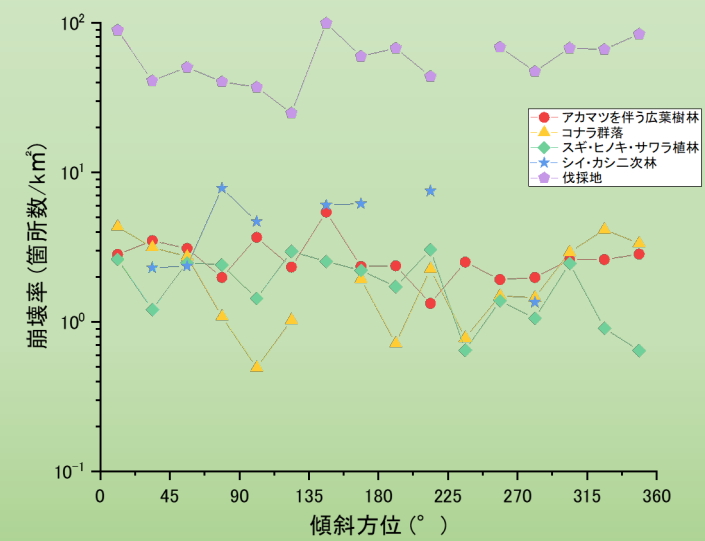
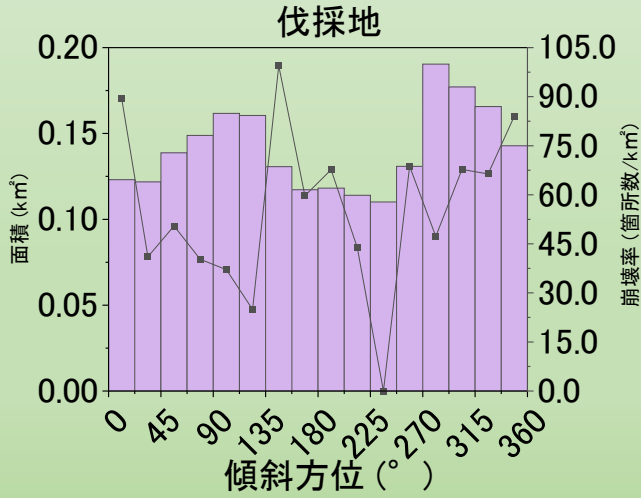
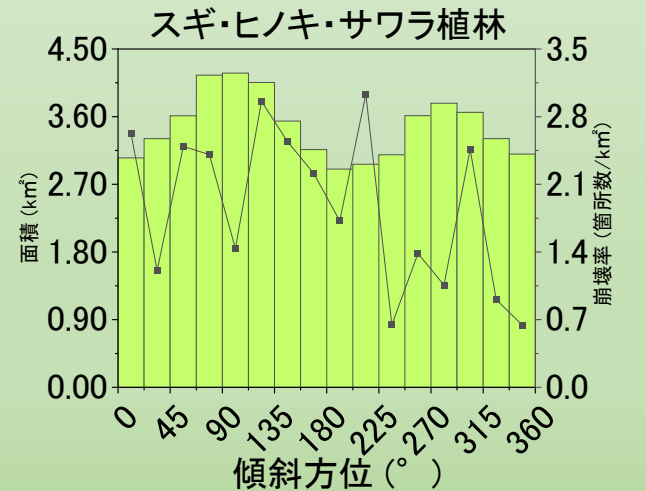
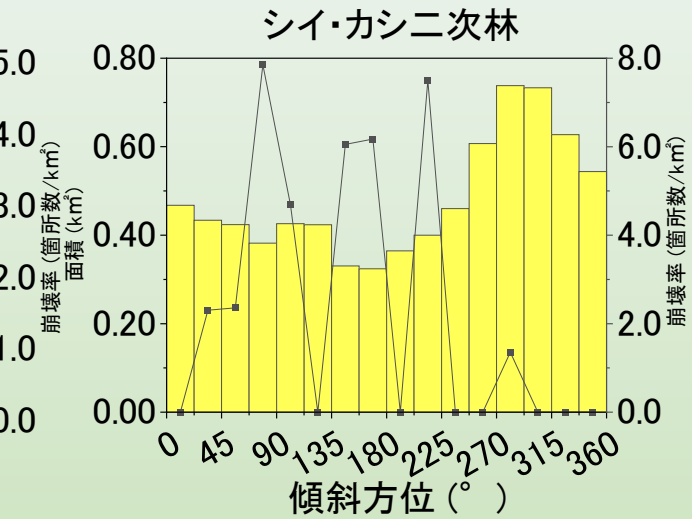
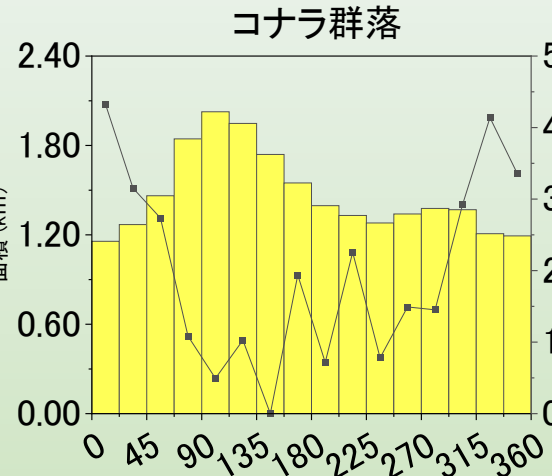
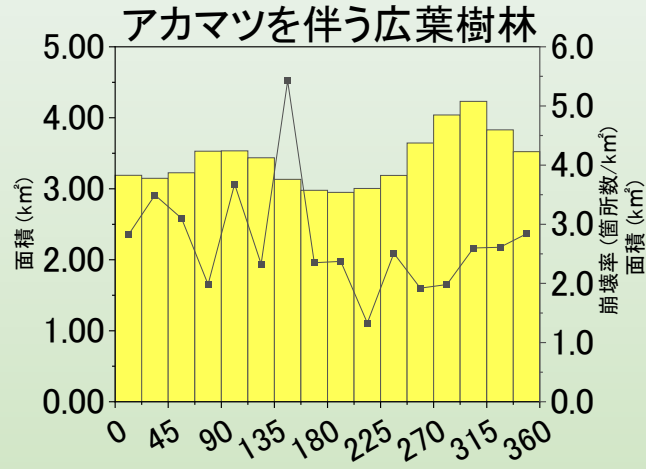
- ✓ 鉛直根：アカマツ、シイ、コナラ
- ✓ 水平根：ヒノキ、サワラ、
- ✓ 斜出根：スギ
- ✓ 崩壊率：アカマツを伴う広葉樹 > シイ・カシ二次林 > スギ・ヒノキ・サワラ植林 > コナラ群落

⇒ 今回の災害において、崩壊の発生、未発生と根系分布の間に明瞭な関係は見られない。



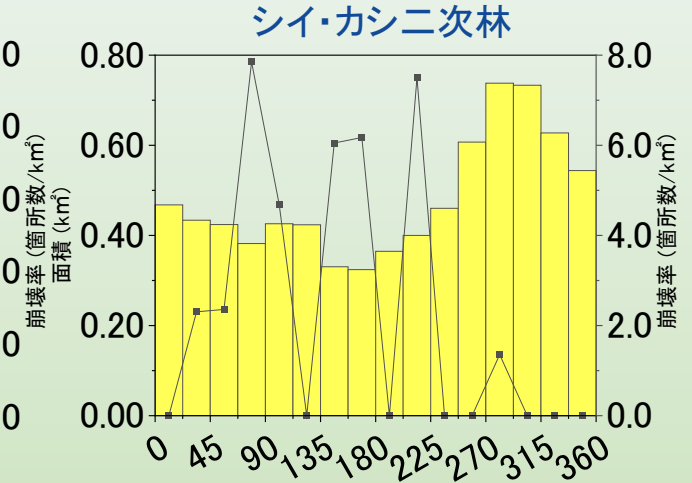
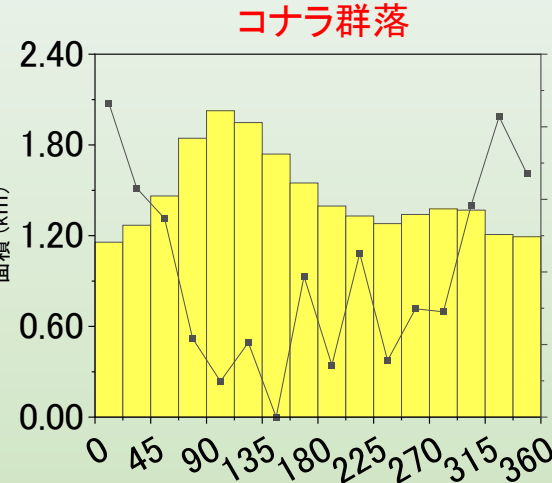
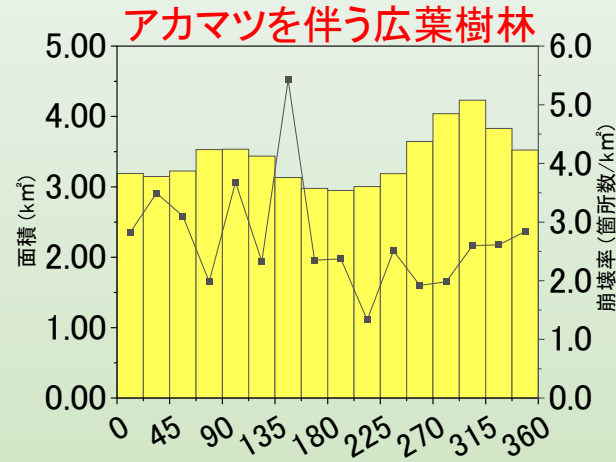


3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討





3.1 降雨による表層崩壊に関する地生態学的検討



- ✓ シイ・カシ崩壊率：南向き斜面
- ✓ その他の広葉樹崩壊率：北向き斜面
- ✓ 陰樹：シイ、カシ
- ✓ 陽樹：アカマツ、コナラ

⇒北向き：日光が当たりづらく陽樹は成長しにくい ⇒ 根の張り、弱い
陰樹は成長できる ⇒ 根の張り、強い

➤ 植生ごとの斜面方位による崩壊率の相違は被覆する植生の育成状態に依存



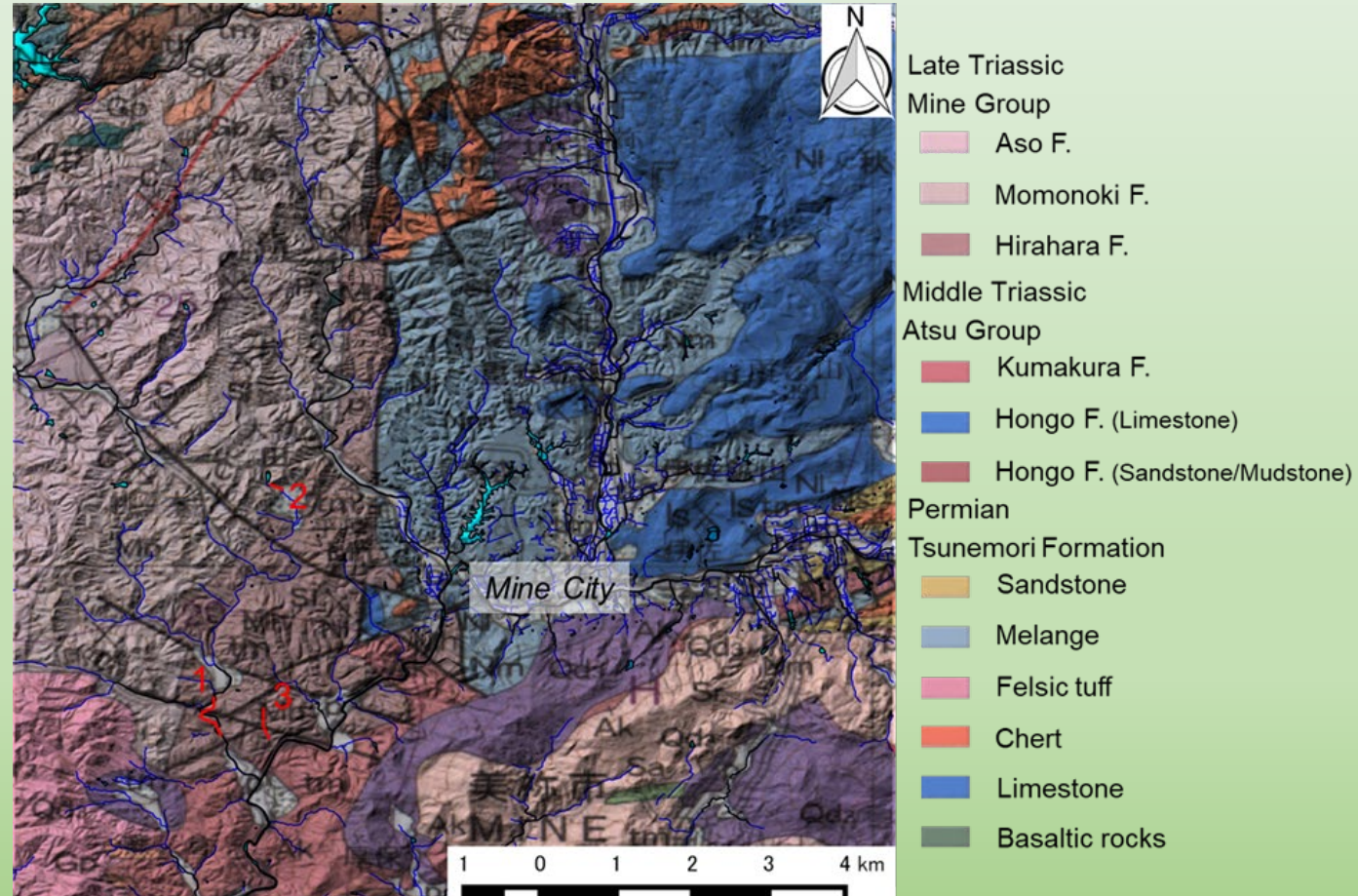
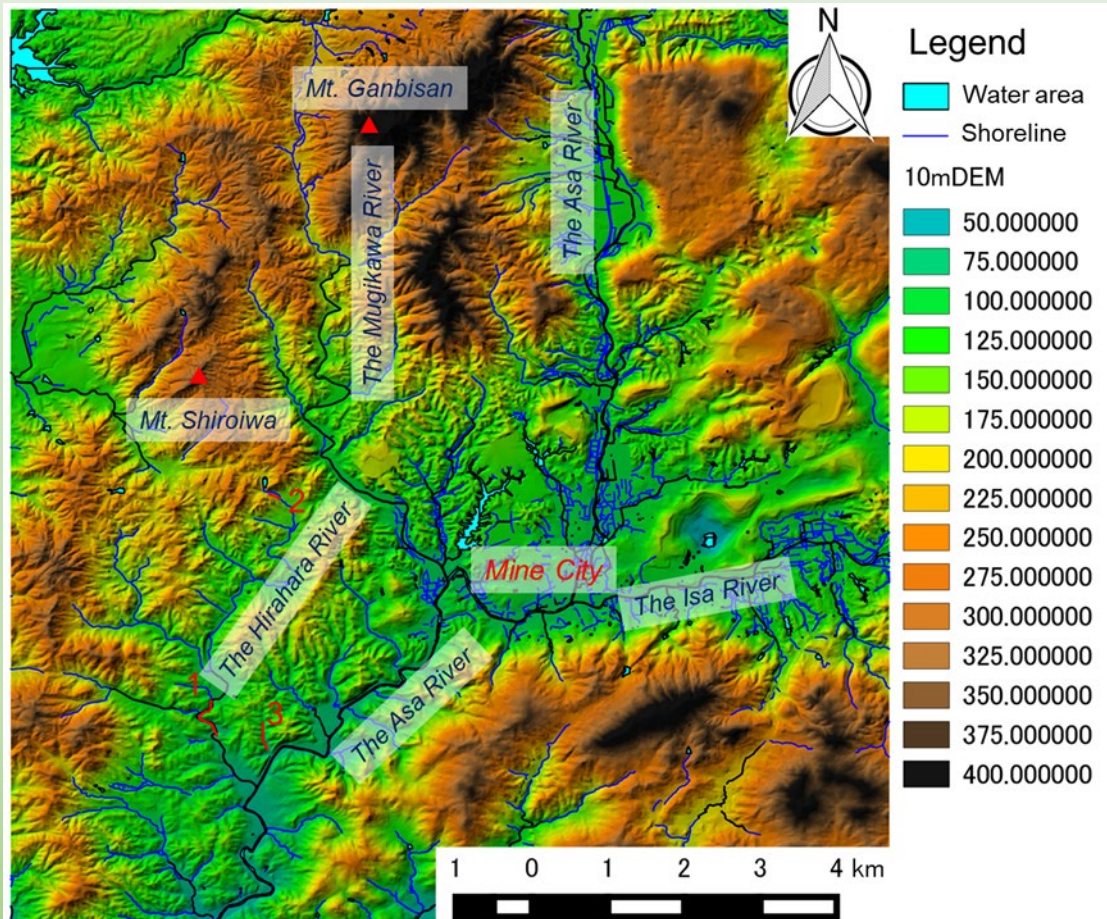
3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性





3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

- 山口県美祢市内の道路切土斜面





3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

・山口県美祢市内の道路切土斜面

■ 平原層

【岩相】 平原層の塊状の砂岩が主に分布，一部に泥岩層を挟在

【層理面の走向・傾斜】

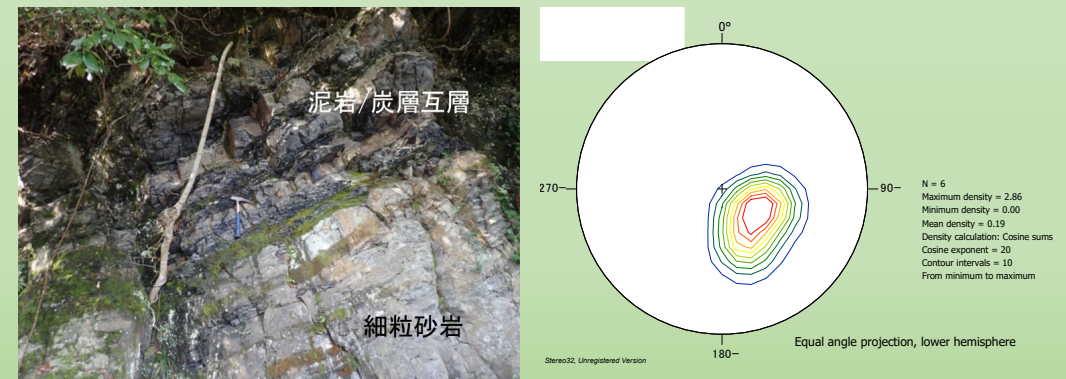
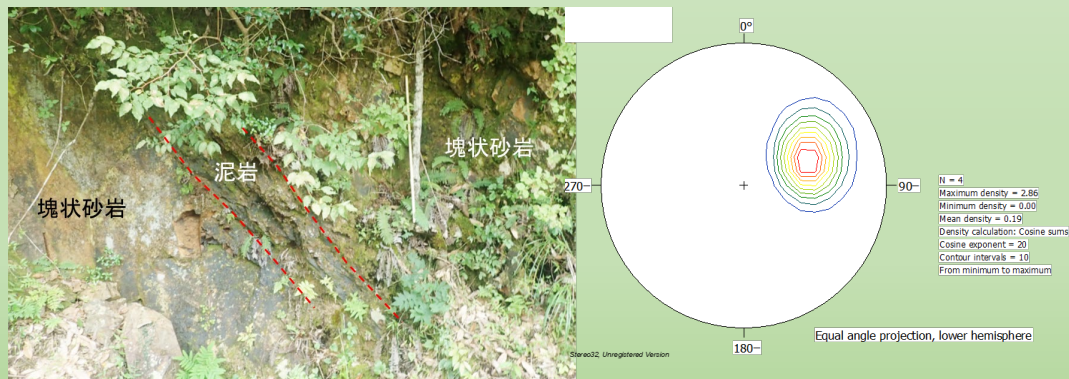
N 0° ~ 30° W50° - 60°W

■ 桃木層

【岩相】 桃木層の礫岩、砂岩、炭層を挟在する泥岩

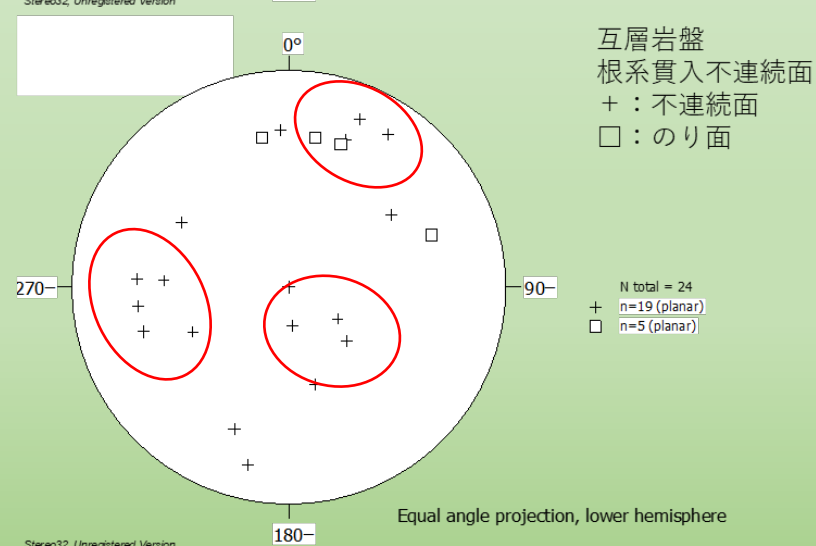
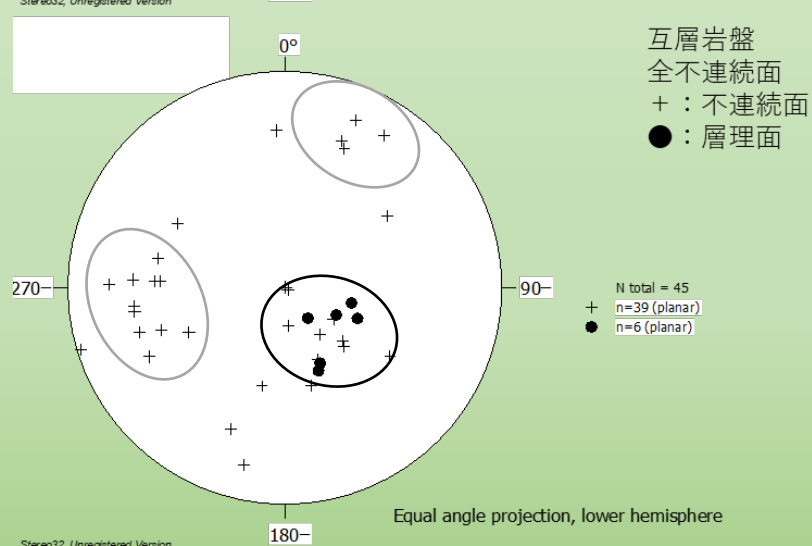
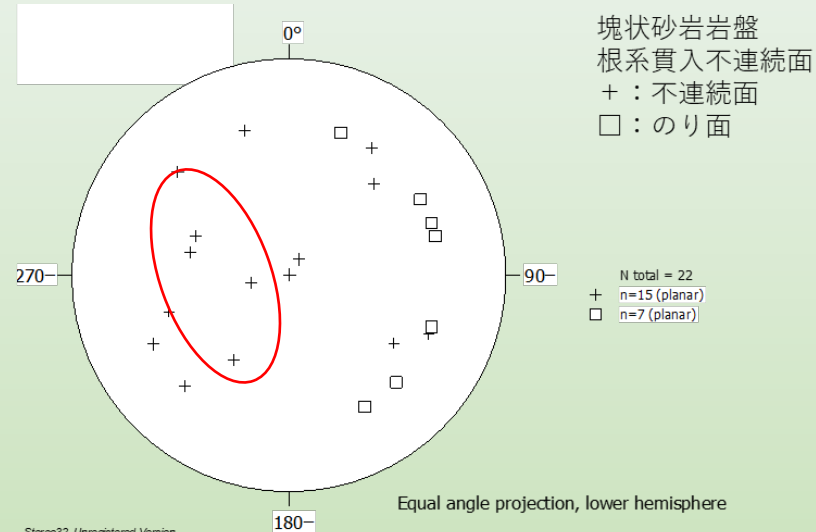
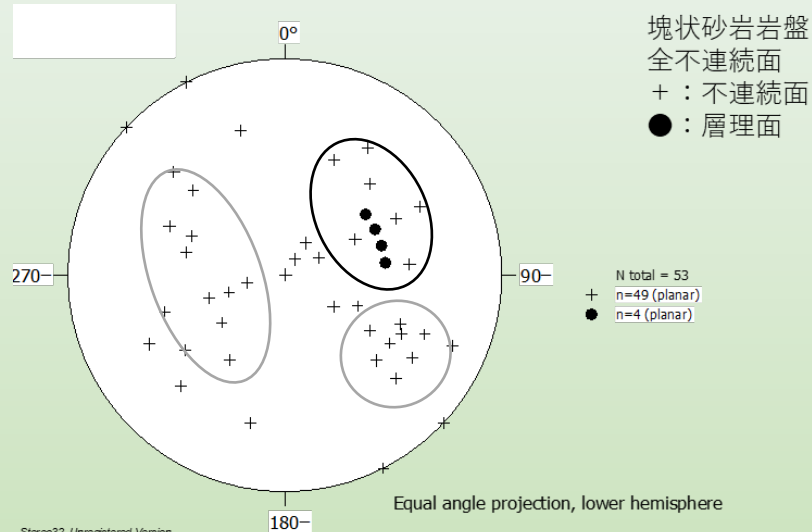
【層理面の走向・傾斜】

N 20° ~ 75° E20° ~ 45°NW





3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性



■ 平原層（塊状砂岩岩盤）

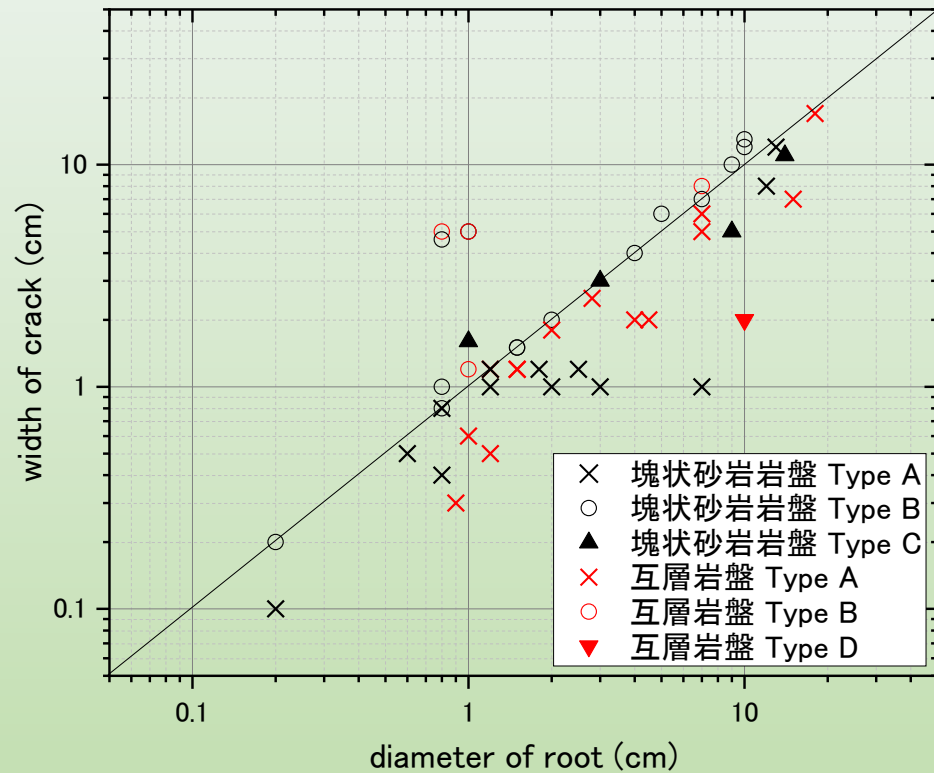
【不連続面】層理面及びその共役2方向、計3方向に発達
【根系貫入不連続面】のり面に対して受け盤構造を呈する不連続面に根系の貫入

■ 桃木層（互層岩盤）

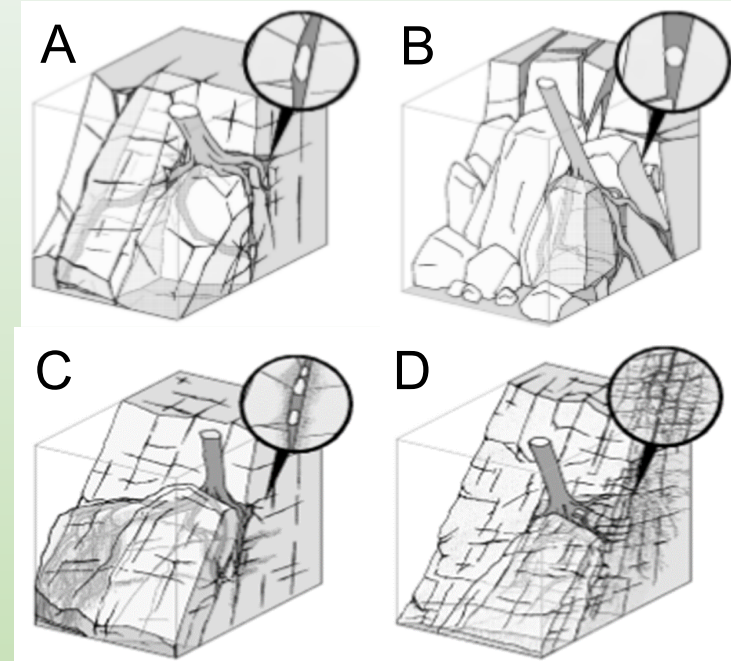
【不連続面】層理面及びその共役2方向、計3方向に発達
【根系貫入不連続面】すべての方向の不連続面に根系の貫入



3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性



不連続面の開口幅と不連続面に貫入した樹木根の長径の関係



塊状砂岩岩盤：タイプBが約50%
互層岩盤：タイプAが66%

➤ 塊状砂岩では受け盤の不連続面にタイプBの根系貫入
⇒根系が貫入するときには、不連続面はすでに開口していた



3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

• 岩盤斜面における樹木根の貫入メカニズム

1. 樹木根は層理面やそれと共役関係の不連続面に貫入する。
2. 受け盤をなす開口した不連続面に貫入した樹木根は、不連続面の開口幅内で円形断面に成長する。
3. 樹木根が密着した不連続面に貫入すると、樹木根の成長時の根圧により不連続面が開口するが、岩盤強度が大きいため、樹木根は不連続面方向に伸びた楕円形断面に成長する。



3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

・根系貫入による斜面の安全率の変化

$$Fr = \frac{cA + (W \cdot \cos\beta - Pr \cdot \sin\beta) \cdot \tan\phi}{W \cdot \sin\beta + Pr \cdot \cos\beta}$$

$$Pr = k \cdot \sigma_r \cdot b \cdot d$$

Fr : 安全率 Pr : 根圧 c : すべり面の粘着力

A : すべり面の面積 W : 岩塊の重量

β : すべり面傾斜 ϕ : 岩盤の内部摩擦角

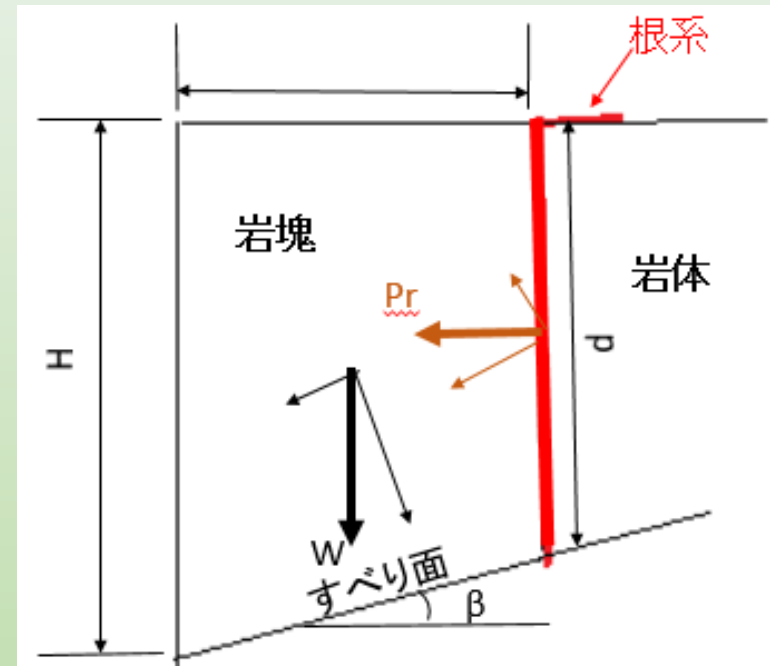
σ_r : 樹木根の一軸圧縮強さ

b : 樹木根の平均長径 d : 樹木根の侵入長

k : 応力低減係数: 樹木根が岩盤に対して与える根圧が樹木根固有の圧縮強さを超えることは無いと考え、理想的には0~1の値をとると仮定

⇒安全率が1となるときの k 値を求めることは樹木根が岩盤を破壊する際の根圧を求めることと等しい

⇒求められた k 値が1以上であれば、樹木根による岩盤破壊は生じない





3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

・根系貫入による斜面の安全率の変化

No.	ルート	樹種	剥落の有無	樹木根の貫入 形態タイプ	$c=7\text{kPa}$		$c=1\text{kPa}$	
					根圧 P_r (N)	応力低減係数 k	根圧 P_r (N)	応力低減係数 k
1	1	つる植物	有	A	278.8	2.23	39.7	0.32
2	1	つる植物	有	B	1814.0	1.68	1139.9	1.06
3	1	広葉樹	無	A	1500.5	1.02	792.0	0.23
4	1	ヒノキ	無	B	10145.3	2.90	4504.6	1.30
5	1	不明	無	B	177.6	0.08	129.3	0.06
6	1	広葉樹	有	不明	1764.2	2.76	250.8	0.39
7	1	ヒノキ	有	不明	2609.4	18.12	922.8	6.40
8	1	ヒノキ	無	B	1235.3	1.14	625.8	0.58
9	1	サンゴジュ	有	C	880.2	5.24	-55.9	-0.3
10	2	不明	無	A	4198.6	2.14	597.1	0.30
11	3	不明	有	B	2716.1	1.76	1747.0	1.05

一般的な砂岩の粘着力：56
～100kPa

⇒ 樹木根そのものの根圧
のみで不連続面のない塊
状の岩盤部分の破壊は不
可能

風化した中生代の砂岩の粘
着力：0～10kPa

⇒ 潜在的に分布する不連
続面の粘着力がこの程度
とすると、十分に根圧の
みにより不連続面から岩
盤の破壊が生じる可能性

すべり面粘着力(c)=7kPaの時、 $k>1$ ∴ 樹木根による岩盤破壊は生じない

すべり面粘着力(c)=1kPaの時、 $k<1$ ∴ 樹木根による岩盤破壊は生じうる



3.2 落石発生要因としての根系貫入の可能性

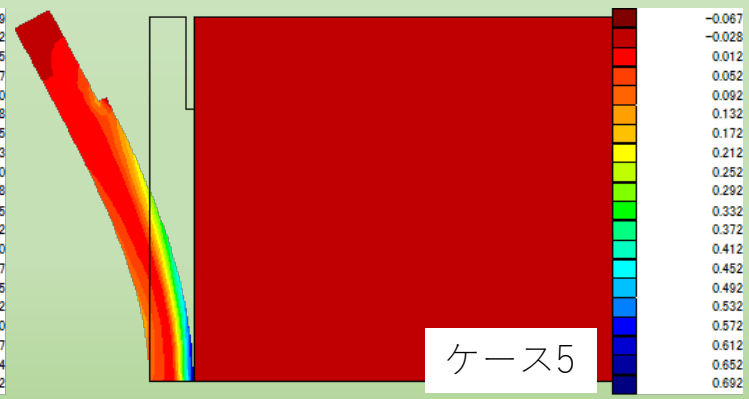
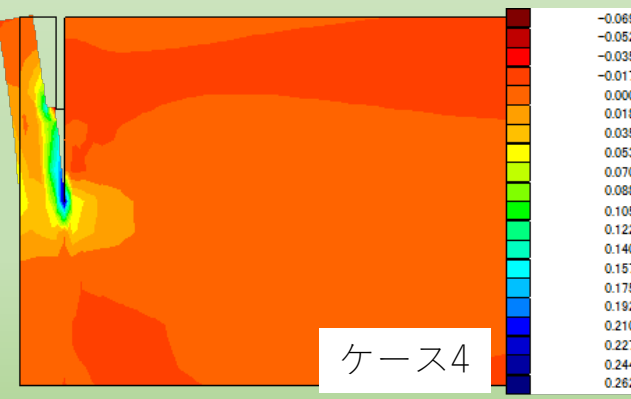
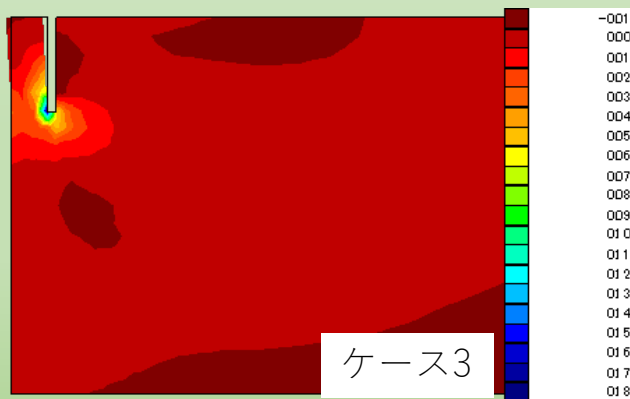
・有限要素解析による数値実験

解析の入力物性値

岩盤		不連続面	
ヤング率(MN/m ²)	3,500	せん断強さ(MN/m ²)	17
ポアソン比	0	内部摩擦角(°)	42
単位体積重量(kN/m ³)	26	残留内部摩擦角(°)	42
せん断強さ(MN/m ²)	43	引張強さ(MN/m ²)	15
内部摩擦角(°)	39	根系	
引張強さ(MN/m ²)	41	一軸圧縮強さ(kN/m ²)	28

解析ケース

ケースNo.	不連続面分布 深度(m)	開口部分布 深度(m)	根圧(kN/m ²)
1	3.00	0.00	0.00
2	3.00	0.75	0.00
3	0.75	0.75	0.28
4	1.50	0.75	0.28
5	3.00	0.75	0.28



最大圧縮ひずみと変形

➤ 根圧の作用により岩塊が剥離する可能性有

4. まとめ



• 災害地質学への定量的地生態学の適用の必要性

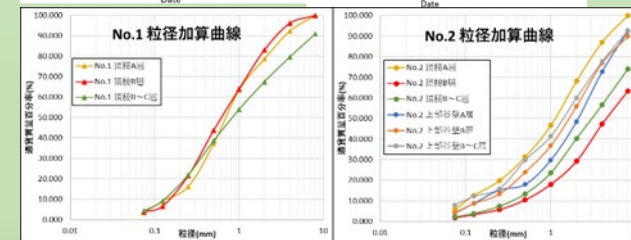
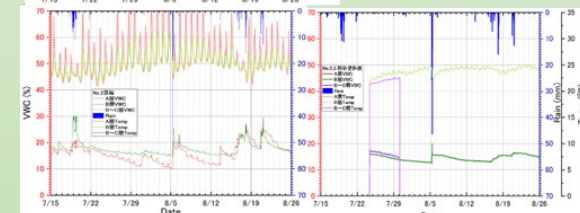
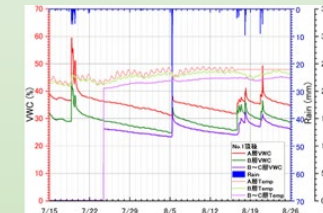
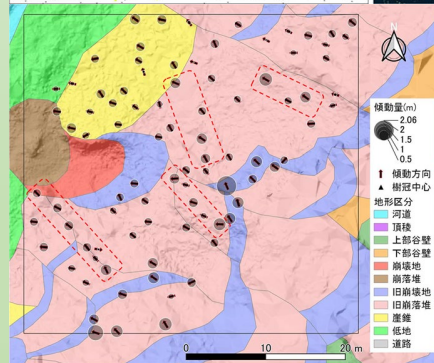
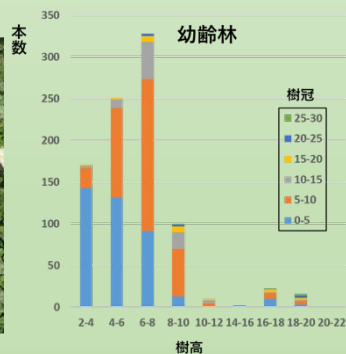
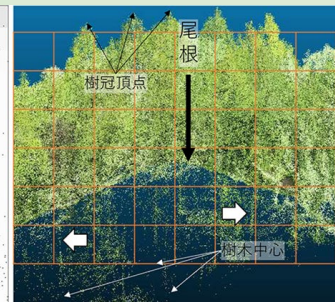
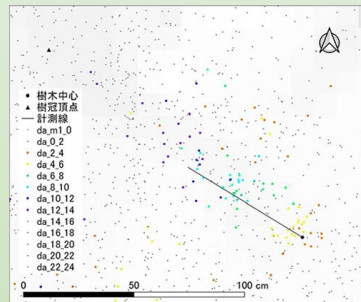
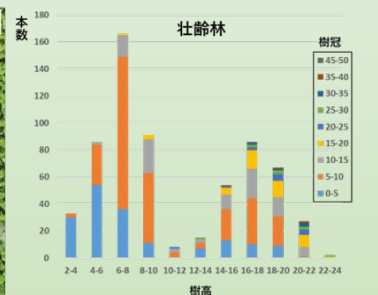
- 山陽地域では花崗岩地域で表層崩壊が多発することが、他の地質体との崩壊率の相違で定量的に示された。
- 樹種が好む育成環境によって表層崩壊が発生しやすい斜面方位が異なることを定量的に示した。
- 樹種ごとに育成環境での根系の発達形態と斜面崩壊抑制効果を明らかにすることにより、種々の植生で被覆される山地や丘陵地における斜面の表層崩壊の危険性を広域的に評価することが可能となる。
- 岩盤への根系貫入機構が地質構造に規制されることを定量的に示した。
- 根系が不連続面に貫入したときの岩盤破壊の可能性を定量的に示した。
- 根系が貫入しやすい樹種を特定し、その樹種の分布と地質構造を把握することで、根系の貫入による落石発生の可能性を評価できる。



4. まとめ

・災害地質学への定量的地生態学の適用の必要性

・現在の取り組みー定量化地生態学的手法による斜面災害危険度評価手法の開発



レーザードローン計測による樹冠、樹高測定

3次元点群データによる樹木傾動計測

林内気象と土壤水分量、土壤物性の対応、土壤形成の検討