



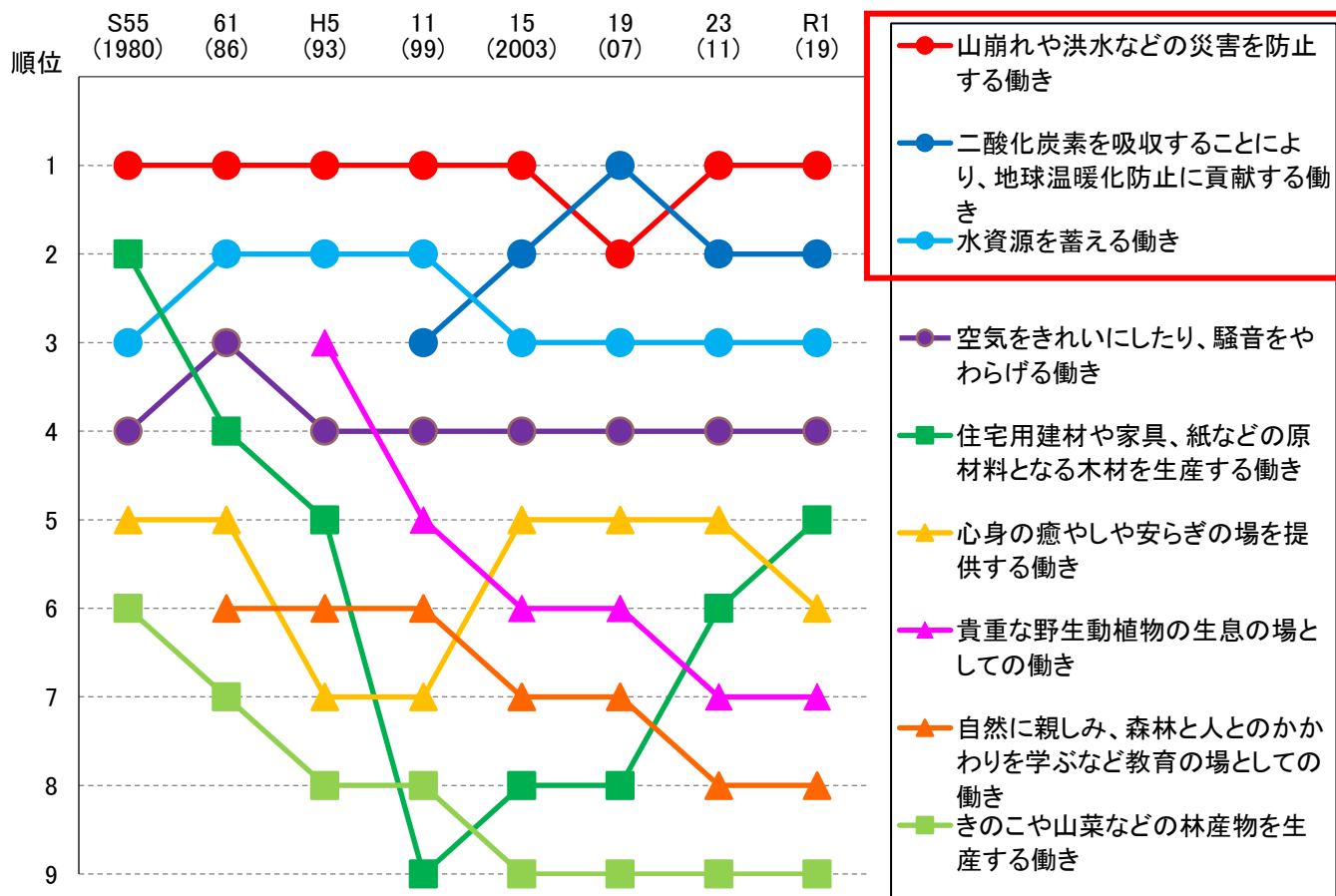
森林の防災減災機能に 基づいた森林管理の考え方

森林総合研究所

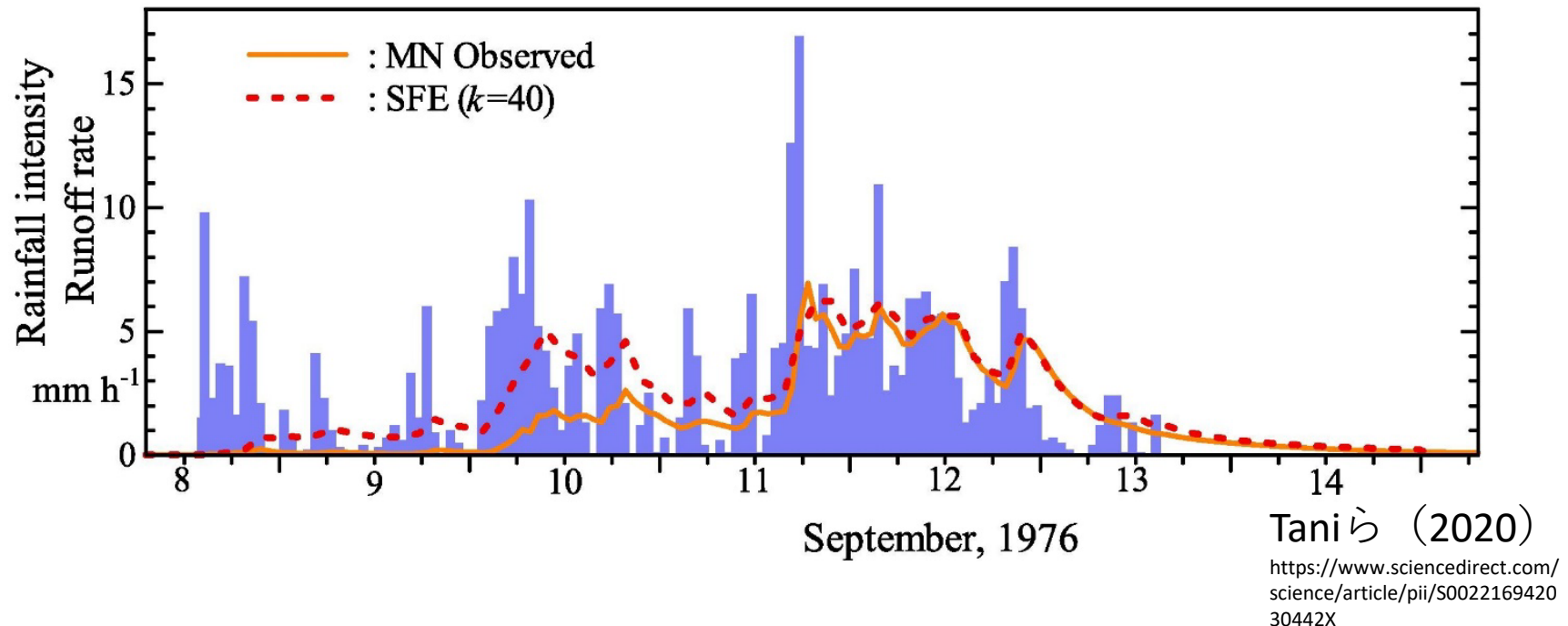
研究ディレクター（国土保全・水資源研究担当）

玉井幸治

森林に期待する役割
(令和3年度 森林・林業白書 農林水産省 から)



洪水緩和機能（観測データから）



- ・ 森林土壌の含水量が増加している状態から、増加しない状態へ移行
- ・ 含水量が増加しない状態でも、降水量に比べて流出量は平滑化
(ピーク流量の低下、流出遅延)
- ・ 森林の洪水緩和機能は、含水量の増加による初期損失の効果だけではない。

洪水緩和機能・水資源保全機能（観測データから）

- ・長期間にわたる大量のデータの、複数試験地での比較が可能になってきた。
例：森林の洪水緩和機能について（玉井，2021）

解析方法：対照流域法

第1段階：

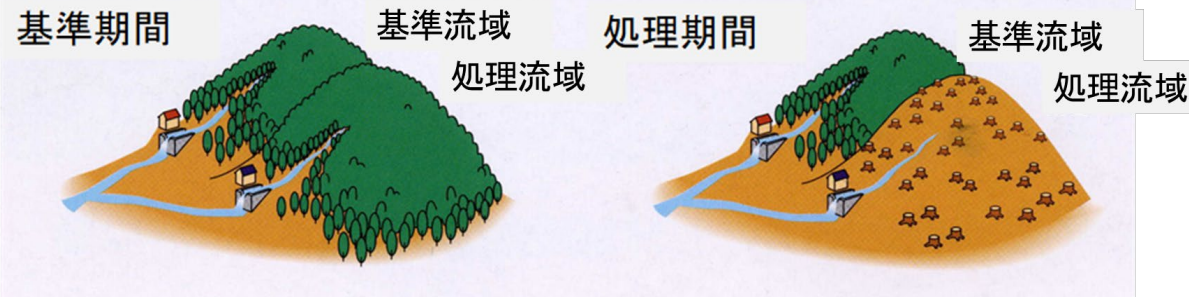
基準期間（両流域の森林とも健在）での、両流域からの流出量の相対関係を求める。
相対関係は、森林の状態、地形・地質による影響を反映。

第2段階：

処理期間（基準流域の森林のみ健全）での、両流域からの流出量の相対関係を求める。
相対関係は、森林の状態、地形・地質による影響を反映。

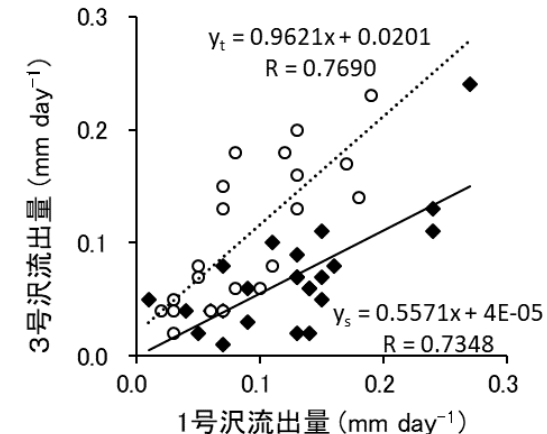
第3段階：

基準期間から処理期間への、両流域からの流出量の相対関係の変化を調べる。
相対関係の変化は、森林の状態の変化を反映（地形・地質は大きく変化しないため）。



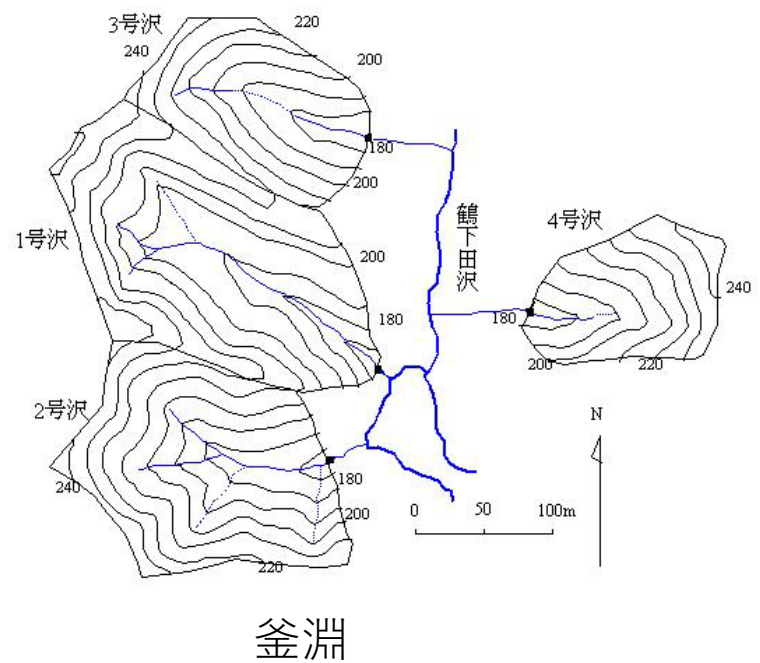
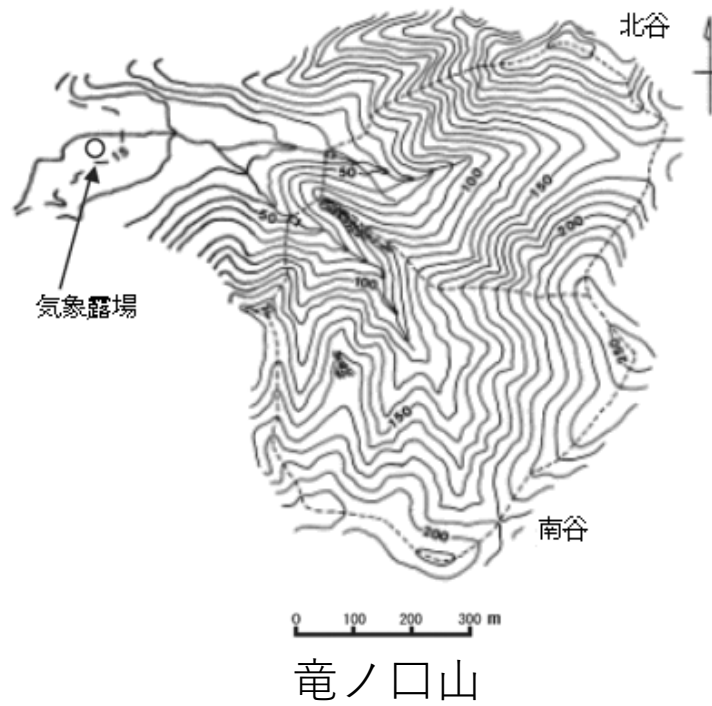
1年間の観測で1点
たくさんの点（長期観測）が必要：長期水文観測の意義

年最小日流出量での例



玉井（2021）

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article-char/ja/

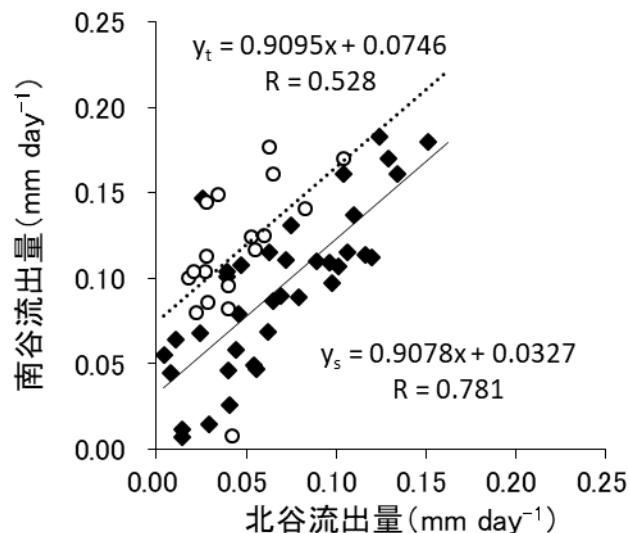


事例	試験地	基準流域 (流域面積)	処理流域 (流域面積)	基準期間	処理期間	処理流域での出来事
1	岡山市 竜ノ口山	北谷 (17.274ha)	南谷 (22.611ha)	1937-1958 1966-1977 1998-2002 (39年)	1960-1965 1981-1996 (22年)	林野火災(1959年9月) マツ枯れ(1978~1980年)
2	山形県 釜淵*1	1号沢 (3.060ha)	2号沢 (2.482ha)	1939-1947 1983-2005 (32年)	1948-1982 (35年)	皆伐(1947年12月~1948年夏) 約2割の林地が裸地の状態(1978年4月)*2
3			3号沢 (1.540ha)	1961-1963 1985-2005 (24年)	1964-1984 (21年)	斜面下部の部分皆伐(1964年1, 2月) 斜面上部の部分皆伐(1969年12月)

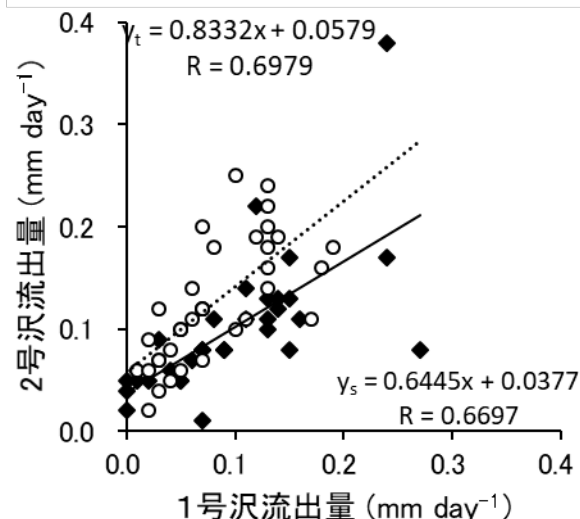
* 1: 水年は6~11月、* 2: 東北支場山形試験地(1980)

玉井 (2021) に加筆

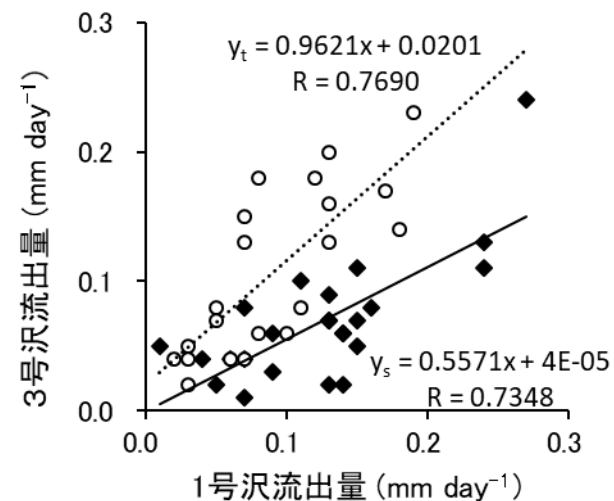
結果：最小日流出量



(a) 事例 1



(b) 事例 2



(c) 事例 3

基準期間と処理期間における最小日流出量の比較

◆：基準期間、○：処理期間

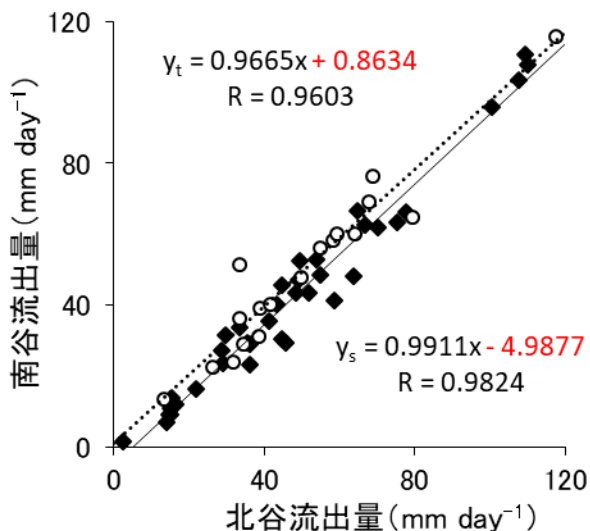
破線：◆の回帰直線、点線：○の回帰直線

y_s ：破線の式と相関係数、 y_t ：点線の式と相関係数

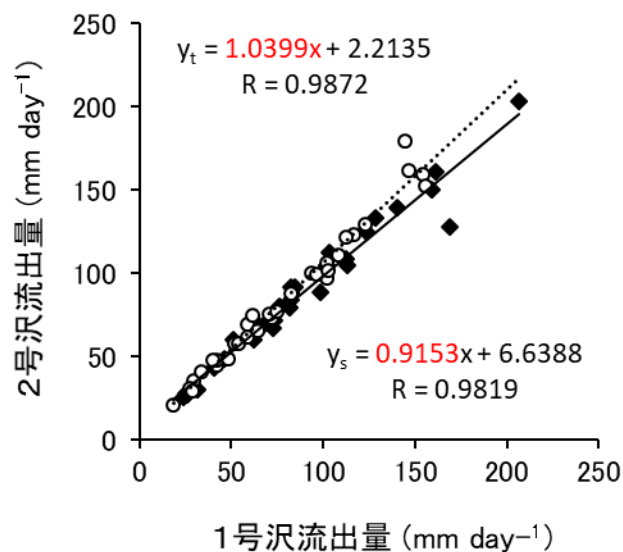
玉井 (2021)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/

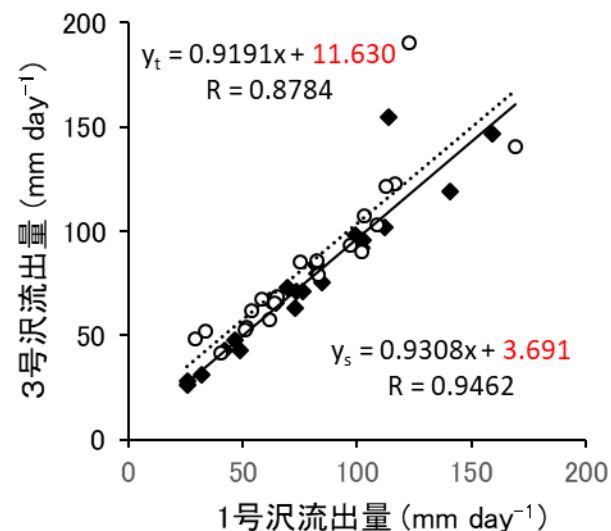
結果：最大日流出量



(a) 事例 1



(b) 事例 2



(c) 事例 3

基準期間と処理期間における最大日流出量の比較

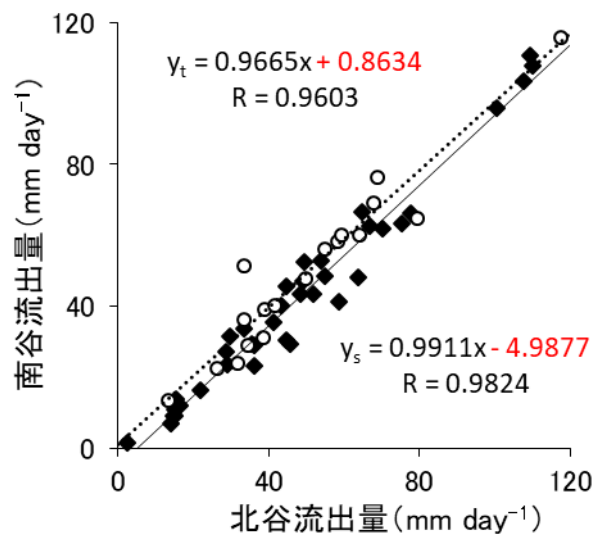
◆：基準期間、○：処理期間

破線：◆の回帰直線、点線：○の回帰直線

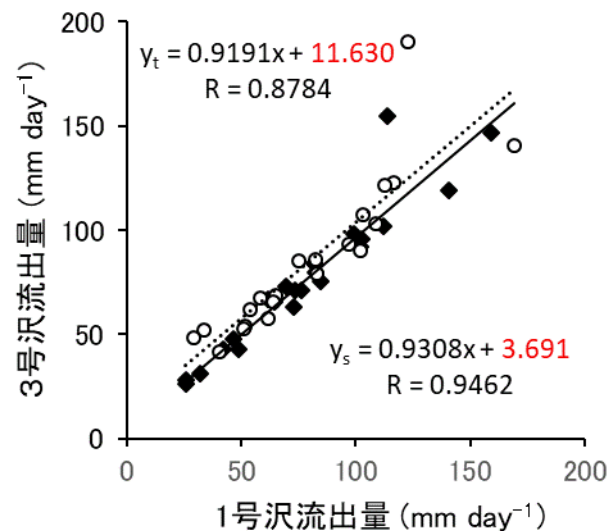
y_s ：破線の式と相関係数、 y_t ：点線の式と相関係数

玉井 (2021)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/

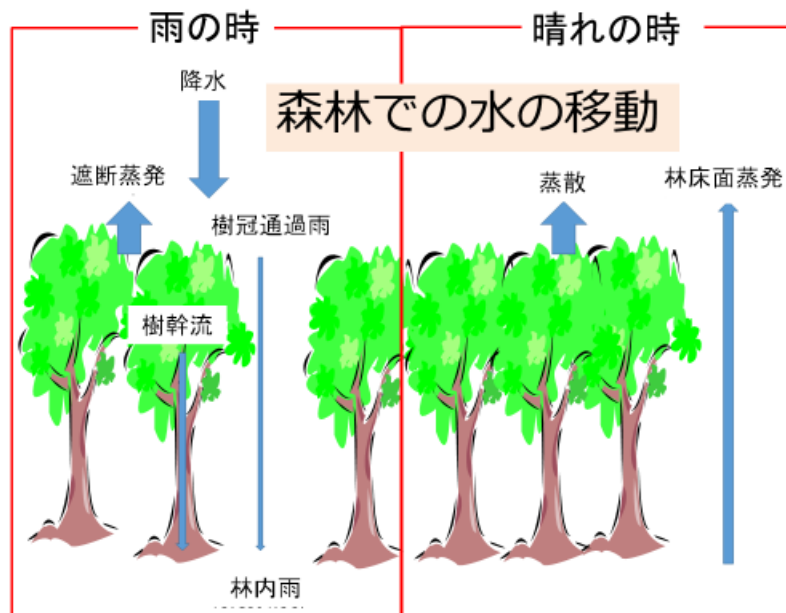


(a) 事例 1 (約6mmの差)

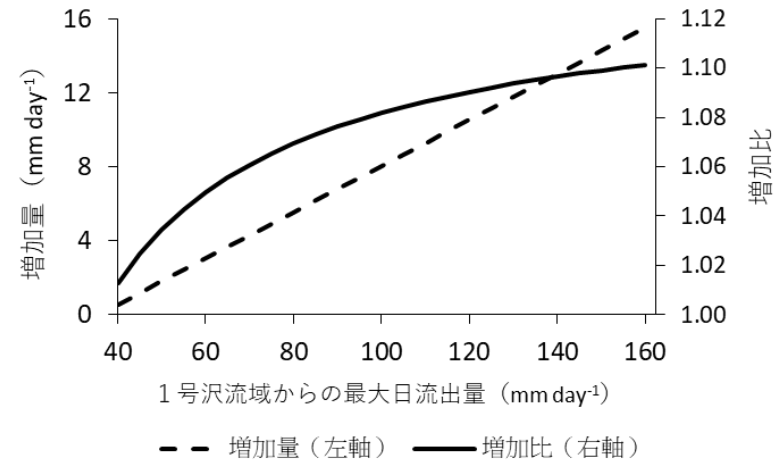
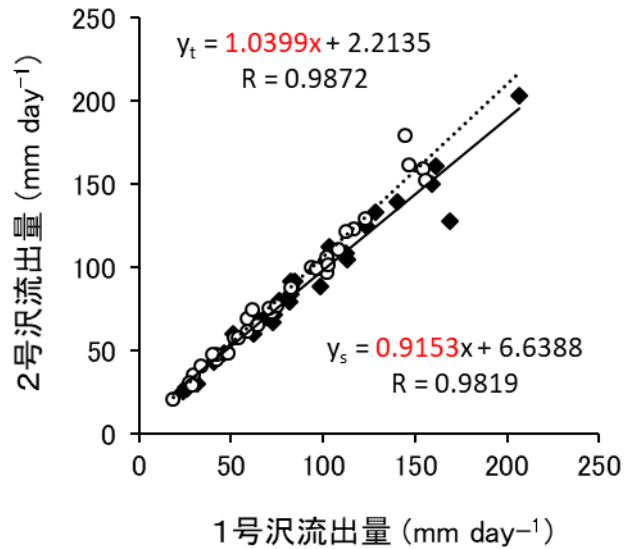


(c) 事例 3 (約8mmの差) 玉井 (2021)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/



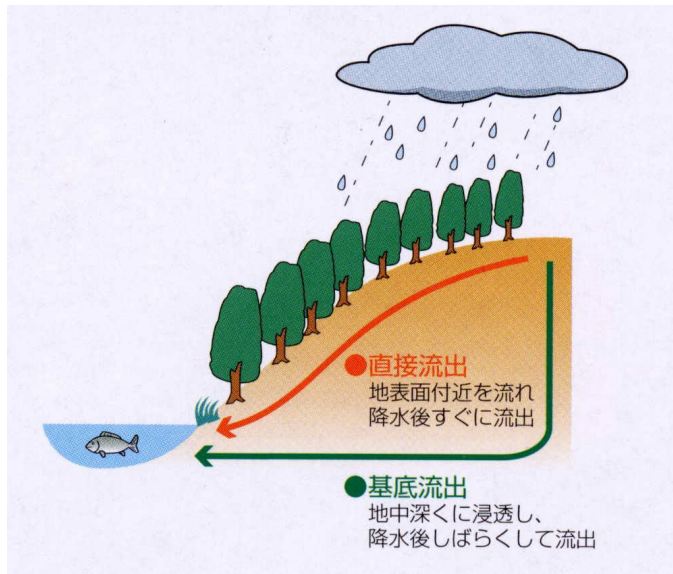
- ・ 処理期間での流出増加量は、降水量に依存しない
- ・ 樹皮などに溜まった雨水が降雨終了後に蒸発する「遮断蒸発」の減少を反映
- ・ 森林樹木の伐採等が即、洪水緩和機能の低下をもたらすわけではない。



(b) 事例 2 玉井 (2021)

処理期間における 2 号沢流域からの
最大日流出量の増加量と増加比 玉井 (2021)

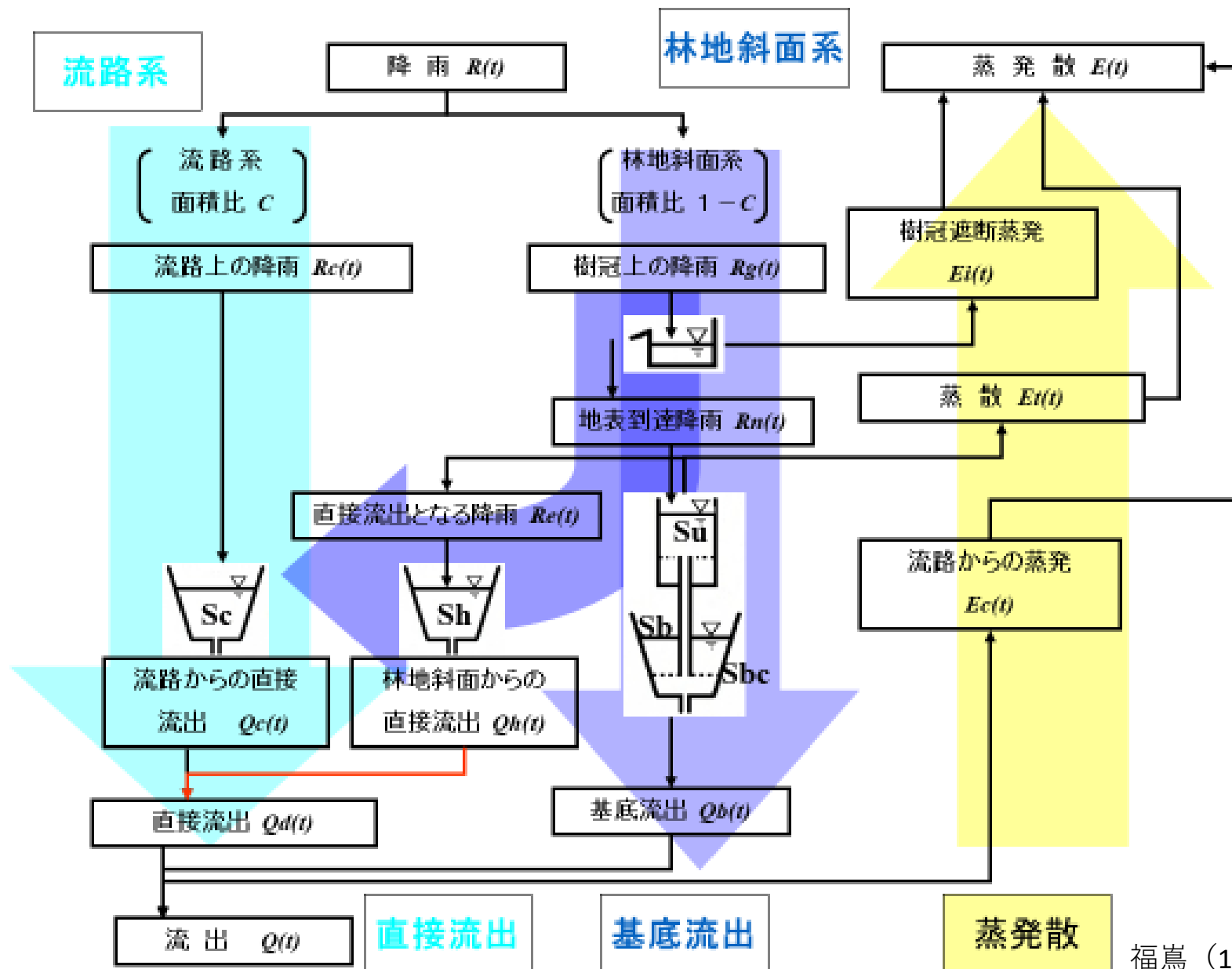
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article-char/ja/



- ・ 処理期間での流出増加量には、降水量と比例する成分が含まれている。
- ・ 処理期間での 2 号沢流域では、約 2 割の土地が雪崩や斜面崩壊により裸地となっていた。
- ・ 裸地化に起因する、直接流出に分配される雨水の増加を反映。
- ・ 森林の洪水緩和機能は低下した可能性。

- ・ 森林樹木の伐採等が即、洪水緩和機能の低下をもたらすわけではない。
- ・ 森林土壌が保全されていれば、
森林樹木の伐採によって渇水時流出量は増加する。
- ・ 森林土壌が劣化した場合には、
洪水緩和機能低下と渇水時流出量減少の可能性が考えられる。

洪水緩和機能・水資源保全機能（モデル研究から）



福嶋（1987に加筆）

はげ山に、山腹緑化工事を施工

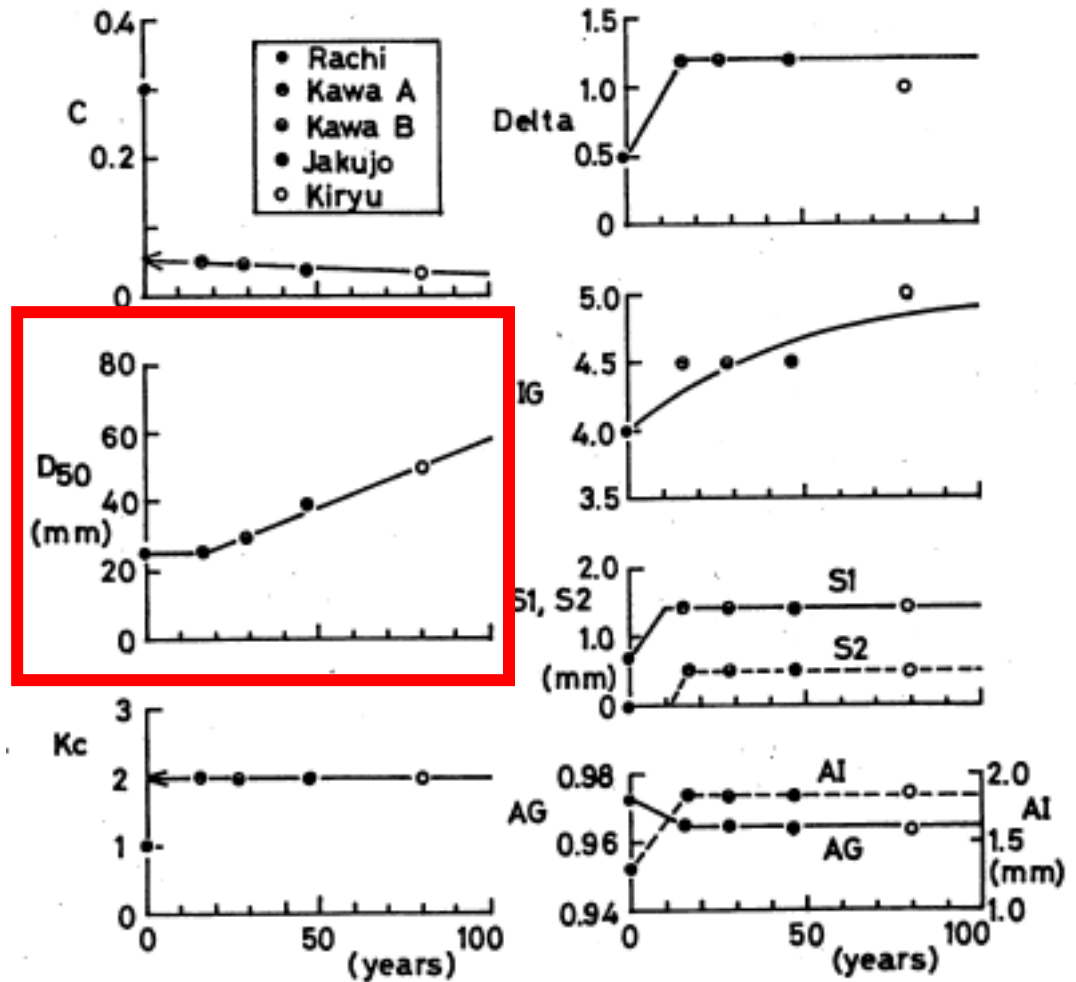


(出典：林野庁W e b サイト

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/archives/tisan/tisan.html>)

滋賀県南部のはげ山跡地
(風化花崗岩地帯)

流域名	緑化工事からの経過年数
裸地	0
川向A	18
川向B	30
若女	49
桐生	82



D50：森林土壌の発達具合を示す変数

(福嶌、1987)

土壌に関する部分

植生に関する部分

流路系

林地斜面系

降 雨 $R(t)$

蒸 発 散 $E(t)$

〔 流路系
面積比 c 〕

〔 林地斜面系
面積比 $1 - c$ 〕

流路上の降雨 $Rc(t)$

樹冠上の降雨 $Rg(t)$

樹冠遮断蒸発
 $Ei(t)$

蒸 散 $Et(t)$

地表到達降雨 $Rn(t)$

直接流出となる降雨 $Re(t)$

流路からの直接
流出 $Qc(t)$

林地斜面からの
直接流出 $Qh(t)$

流路からの蒸発
 $Ec(t)$

直接流出 $Qd(t)$

基底流出 $Qb(t)$

流 出 $Q(t)$

直接流出

基底流出

蒸発散

福 嶋 (1987に加筆)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/suirikagaku/31/4/31_17/_article/-char/ja/

モデルによる計算結果

	土壌に関する 変数	植生に関する 変数	時間流出量 (mm/hour)		
			年最大値	年最小値	
Run 1	桐生（土壌あり）	桐生（植生あり）	5.0	0.01	土壌が無くなると 年最大値 増加 年最小値 減少
Run 2	裸地（土壌なし）	桐生（植生あり）	9.3	0.002	
Run 3	裸地（土壌なし）	裸地（植生なし）	9.3	0.03	植生が無くなると 年最大値 変化無 年最小値 増加

玉井（2021）森林の持つ水源涵養機能，環境情報科学50（1），25-29
Tani et al. (2012)を基に作成

- ・洪水緩和機能と渇水時流出量を維持するためには、森林土壌の保全が重要。
- ・水資源が不足している地域では、植生管理による水資源の確保は選択肢。
- ・しかし降水量が多い（豪雨・土砂災害も多い）日本では、土壌の保全を基本に考える。

森林土壌が失われる原因.

1. 表面浸食

間伐は、有効な森林土壌の保全策

2. 斜面崩壊

森林が貧弱で根系が未発達であると土砂災害が発生して森林土壌が失われる危険性が高くなる。



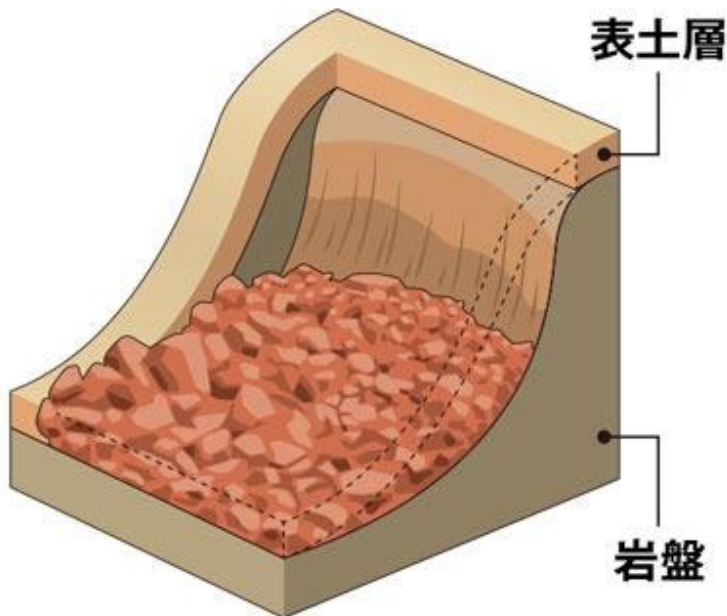
- 土砂災害抑制機能

根系による補強効果は、表層崩壊に対して有効

表層崩壊と深層崩壊の違い

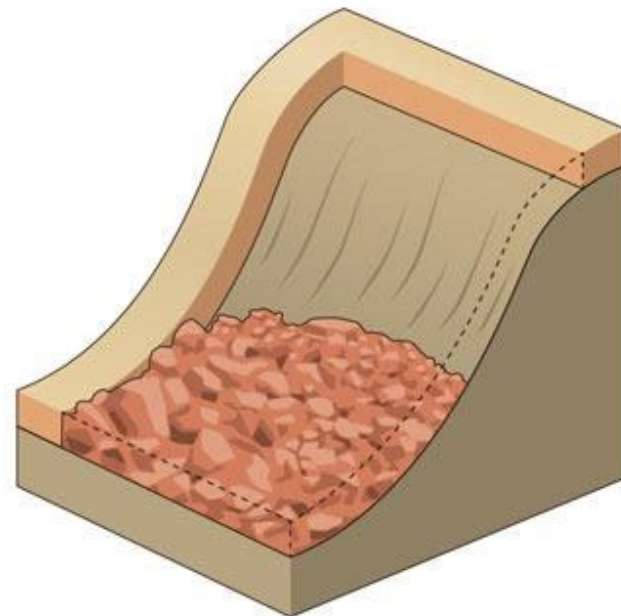
深層崩壊

表土層と岩盤が同時に崩れ落ち、
土砂や岩は膨大な量になる



表層崩壊

表土層だけが崩れ落ちる
地すべりや土石流



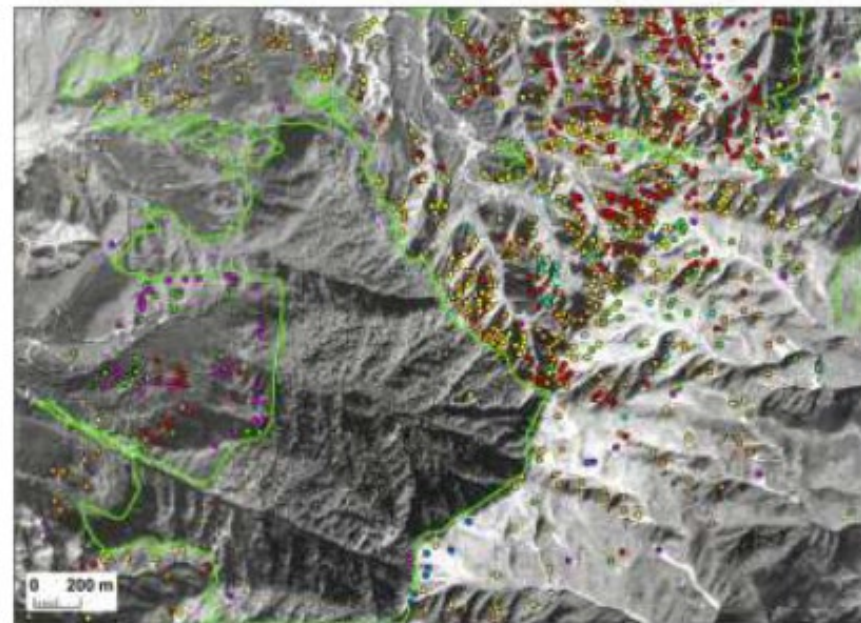
(ウェザーニューズHPより)

表層崩壊

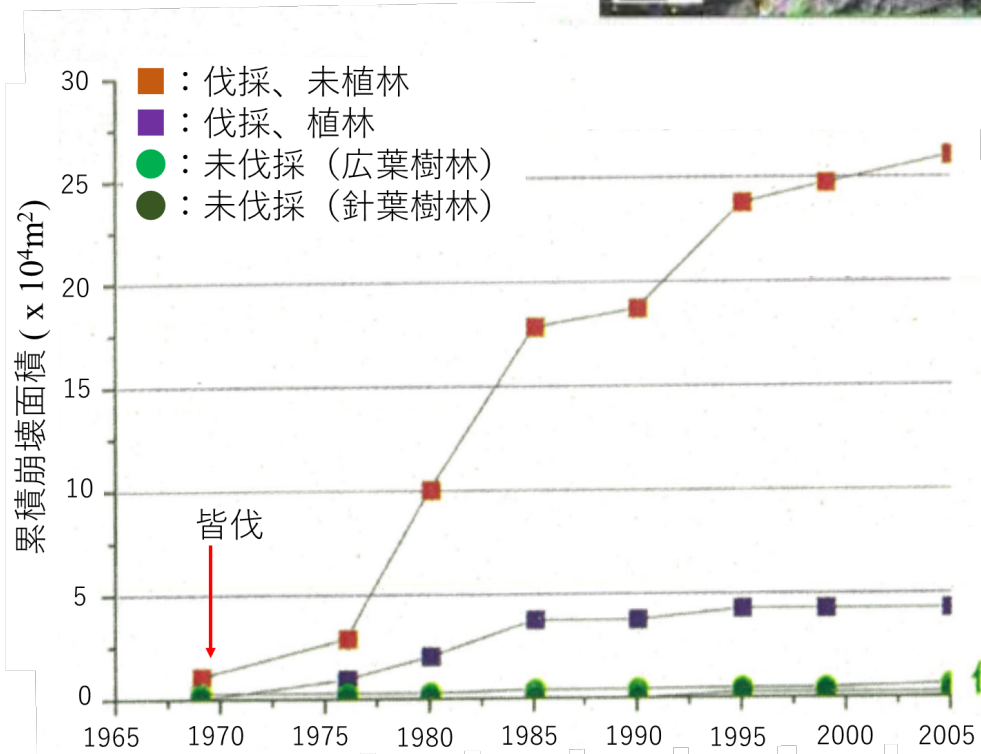
森林の皆伐後に、多数の斜面崩壊が発生した事例（多田、2021）

<http://sanrin.sanrinkai.or.jp/pdf/1614739406/1641.pdf?#page=19?>

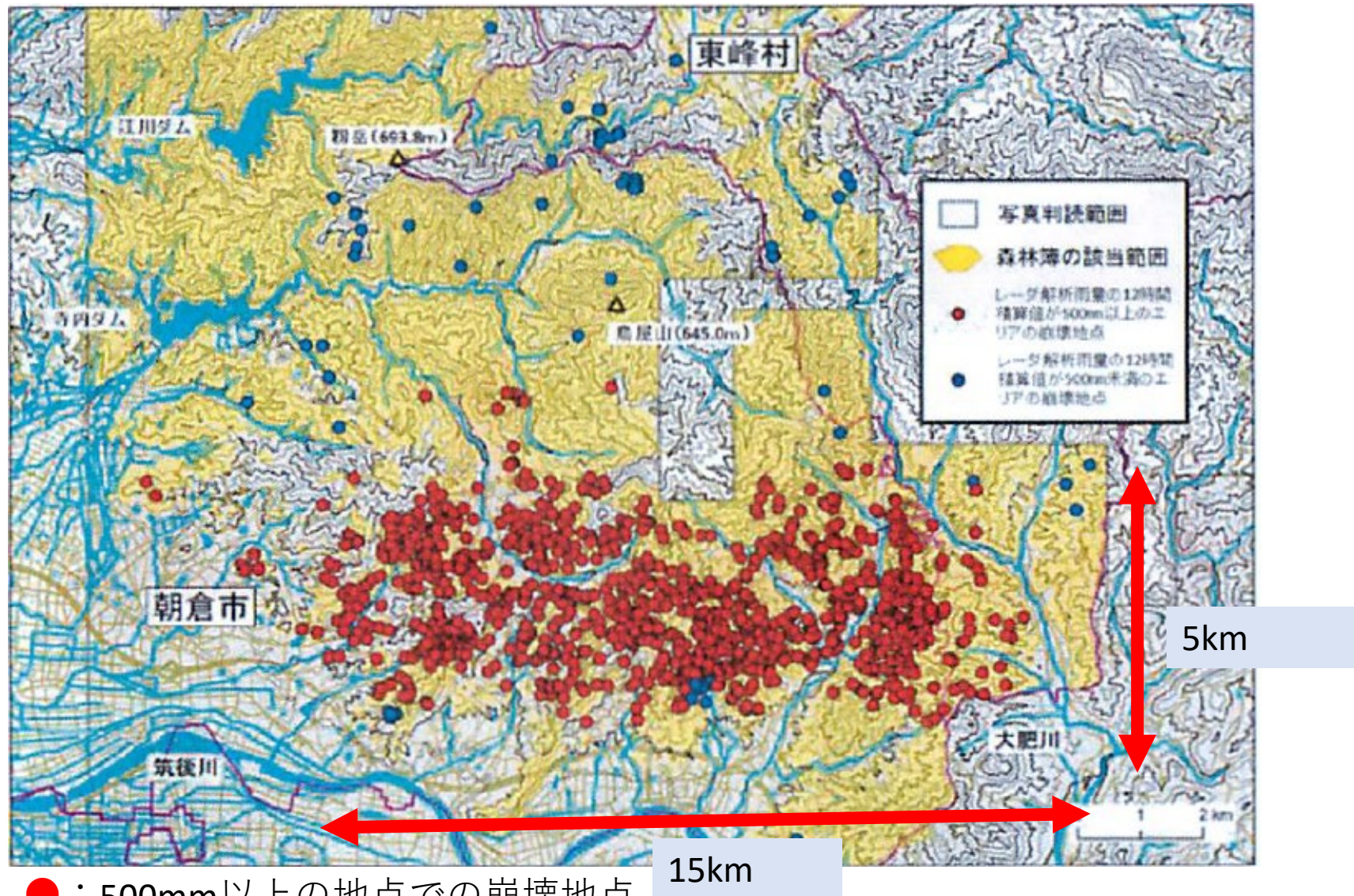
- 伐採後に植栽されれば、15年経過後には、崩壊は発生しなくなる。
- 伐採後に未植栽であれば、30年以上経過しても、崩壊が発生。



累積



2017年九州北部豪雨災害にて

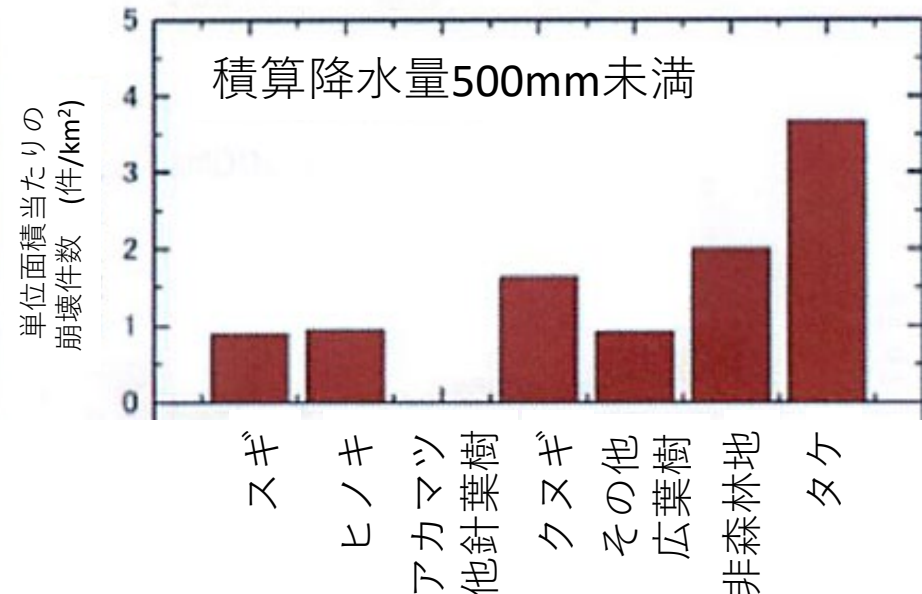
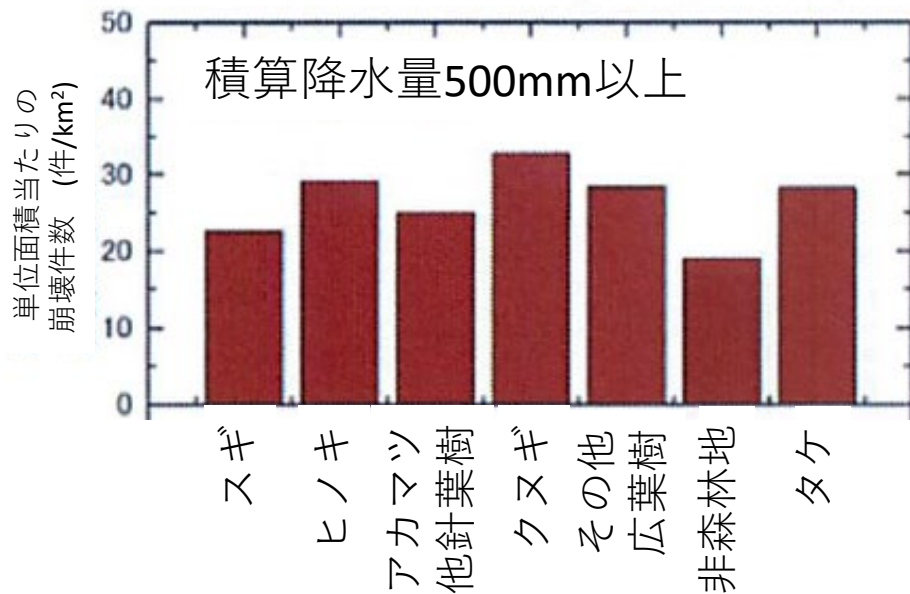


● : 500mm以上の地点での崩壊地点

● : 500mm未満の地点での崩壊地点

(7月5日10~22時の12時間積算降水量にて)

(村上ら, 2018)防災科学技術研究所研究資料 第418号を加工

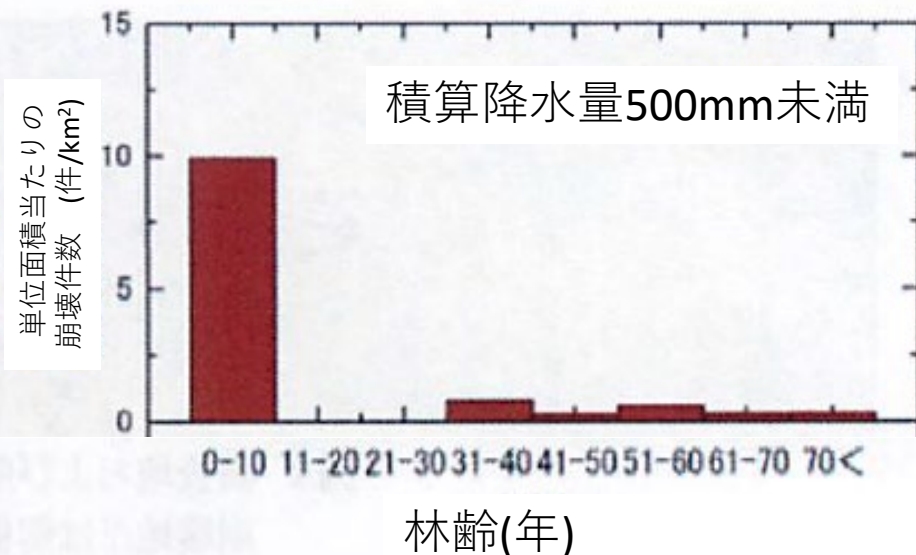
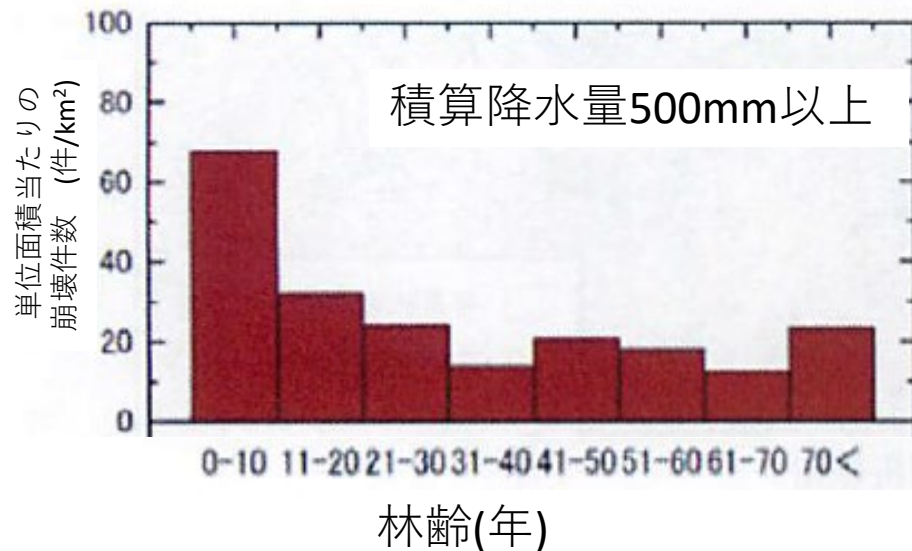


(村上ら, 2018)

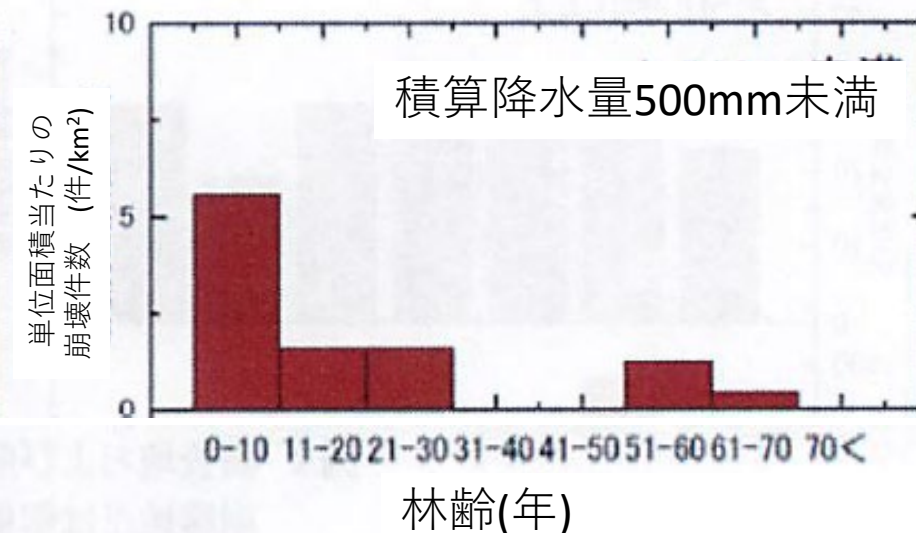
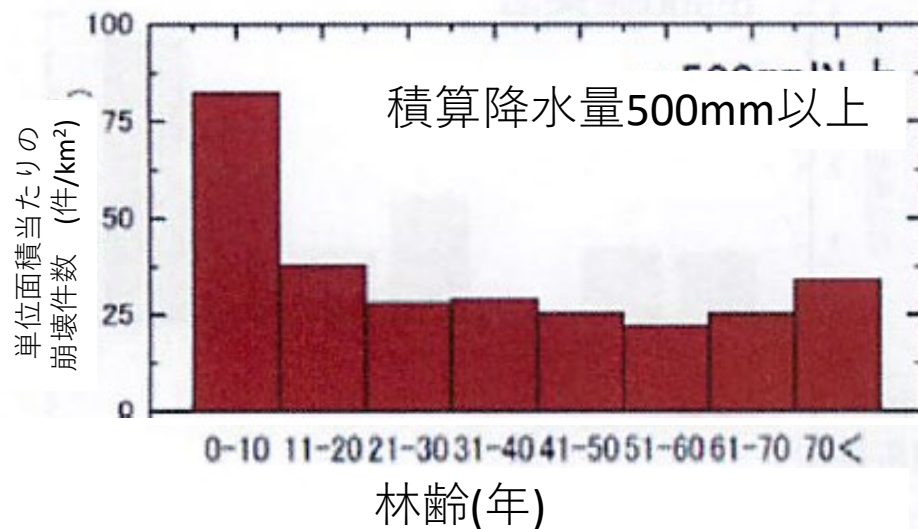
防災科学技術研究所研究資料 第418号を加工

- ・ 積算降水量500mm以上の範囲では、スギ林・ヒノキ林と森林地以外での単位面積当たりの崩壊発生件数の差は明瞭では無い。
- ・ 積算降水量500mm未満の範囲では、スギ林・ヒノキ林における単位面積当たりの崩壊発生数が、森林地以外での発生件数より少ない傾向にある。

スギ



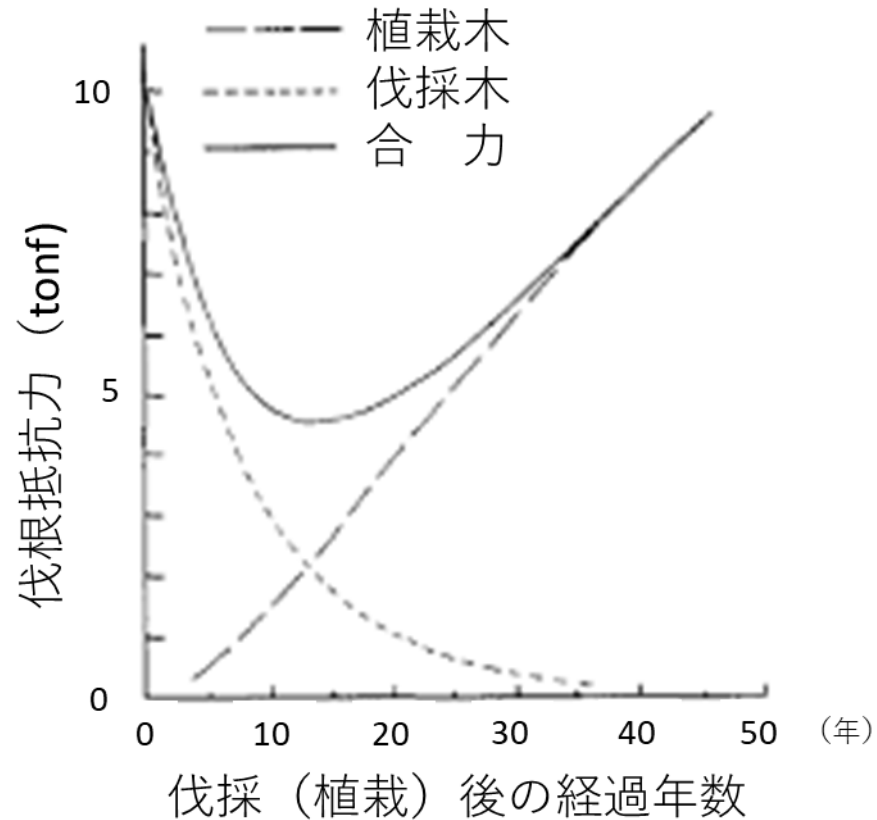
ヒノキ



林齢10年以下の森林では、単位面積当たりの崩壊件数が多い傾向にある。

(村上ら, 2018)

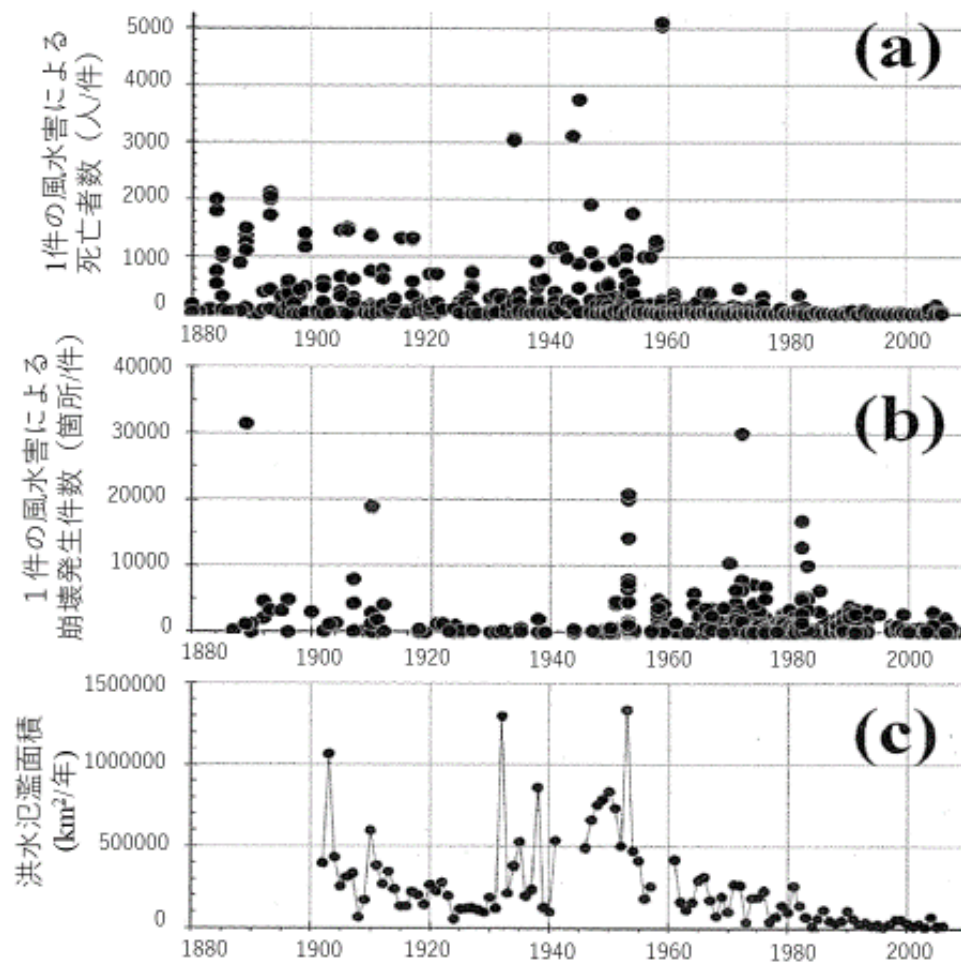
樹木根系による斜面強度補強効果 (表層崩壊)



北村・難波
(1981)

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/313-9.pdf>

伐採 (植栽) 後の10～20年程度の間は、樹木根系による補強効果は低下



風水害による被害の経年変化 (多田、2018)

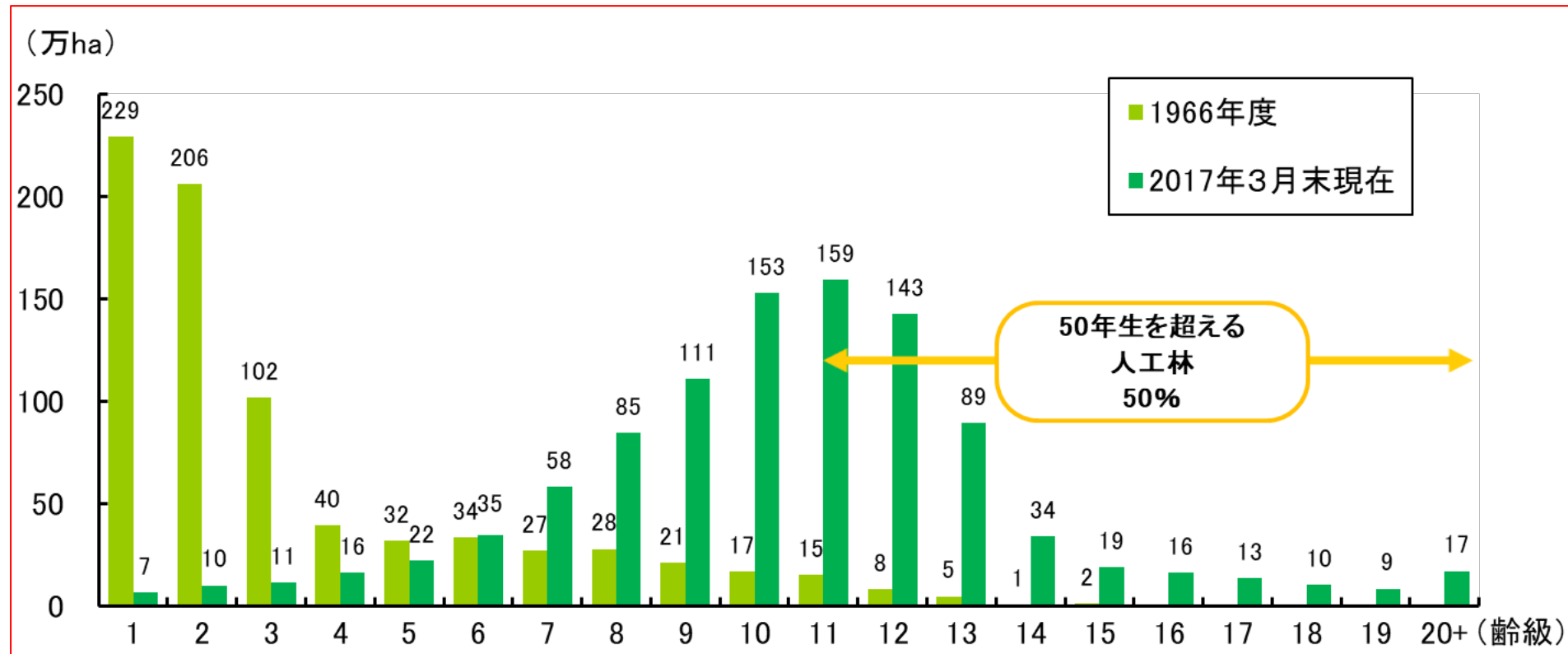
https://www.jstage.jst.go.jp/article/suirikagaku/62/4/62_121/_article/-char/ja

1960年以降、風水害による被害は低下

- ・ 治山・治水施設の整備
- ・ 森林の充実（伐採量、落葉落枝の林内残置）
- 石油、化学肥料、外材の普及による

1960年以降、風水害による被害は低下

- ・ 治山・治水施設の整備
- ・ 森林の充実（伐採量、落葉落枝の林内残置）
石油、化学肥料、外材の普及による



(林野庁ホームページから)

- ・ 1966年度に比べて2017年度の森林は充実しており、森林による防災減災機能は高い状態になると考えられる。
- ・ かつてのような森林であったら、近年の災害はより甚大であったと考える。

森林の防災減災機能に基づいた森林管理の考え方

森林の防災減災機能：

若齢林の割合を少なくするためには、
森林の保全が有効

温暖化緩和策：

森林の若返りによる炭素吸収量の増加
木材利用による炭素蓄積の促進のためには、
森林の伐採植栽が必要

斜面崩壊は、珍しい現象

森林の伐採植栽における留意点

1) 手法の選択

- ・ 災害発生リスクがより高い場所での伐採では、リスクがより低くなる手法を選択する。

2) 場所の選定

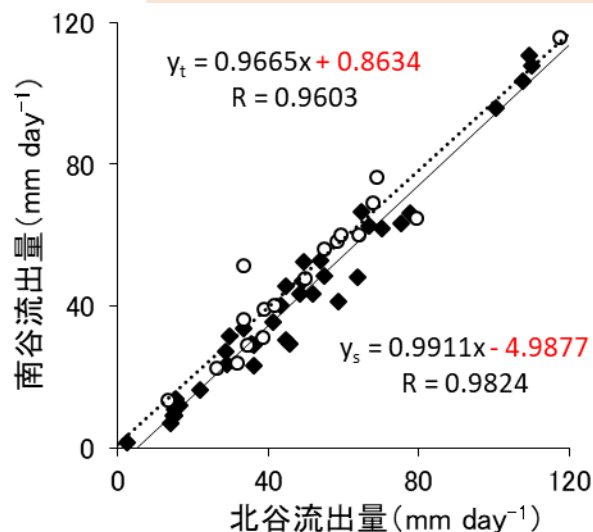
- ・ 災害が発生した場合に人的被害・保全対象物への被害が発生する場所では、特に注意を要する。

1) 災害発生リスクのより低い手法

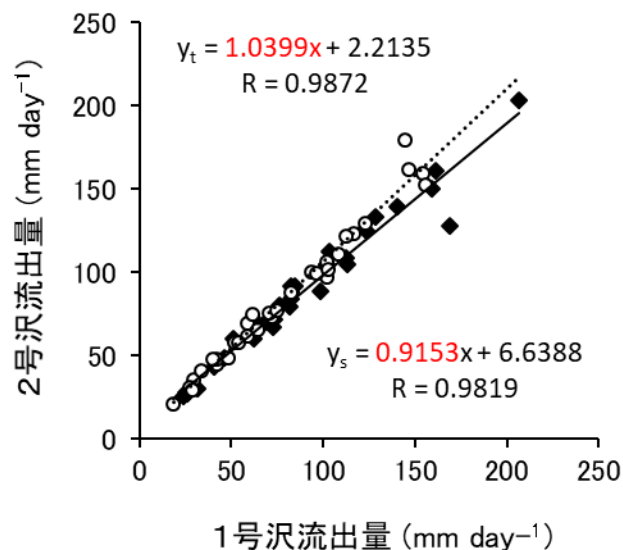
1. 根系の維持・発達の促進を考慮する。
2. 斜面崩壊発生リスクのより高い場所ほど、伐採量をより制限し、より多くの樹木根系を残すようにする。
3. 斜面崩壊発生リスクのより高い場所ほど、樹木根系による補強効果が小さくなる期間を短くするために、伐採後には速やかに苗木を植栽するようにする。

森林管理による影響の事例紹介

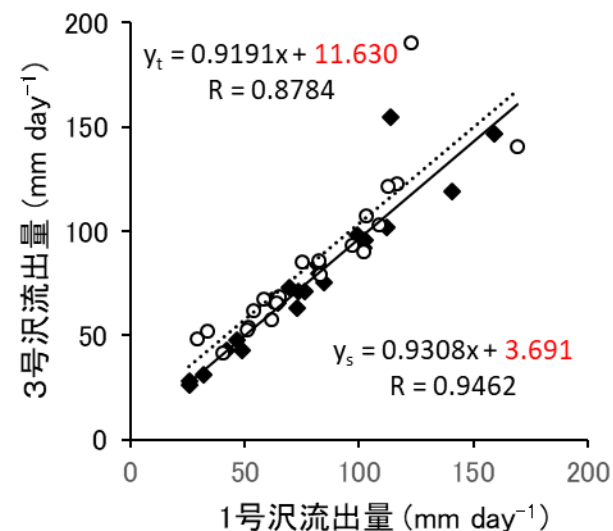
森林による洪水緩和機能は、事例1と3では維持され、事例2では、低下と考えられた



(a) 事例1



(b) 事例2



(c) 事例3

基準期間と処理期間における最大日流出量の比較

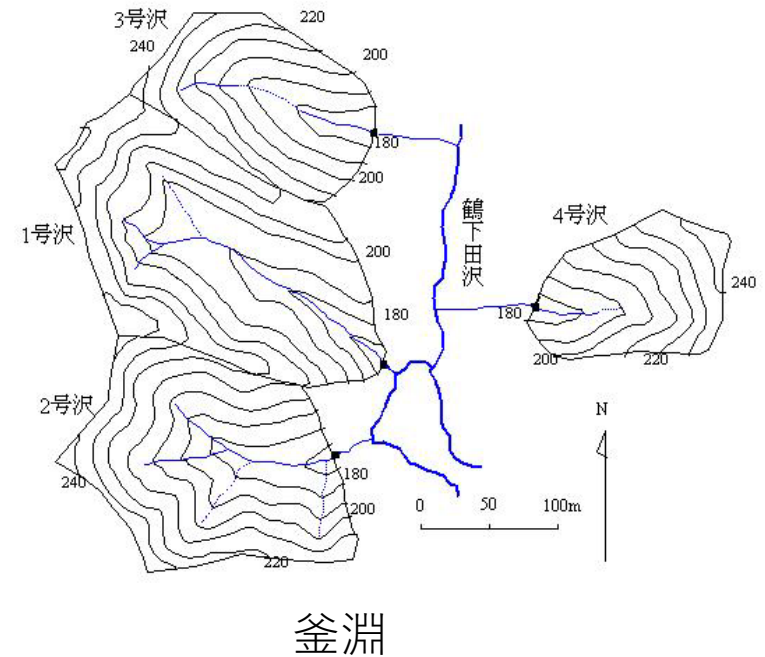
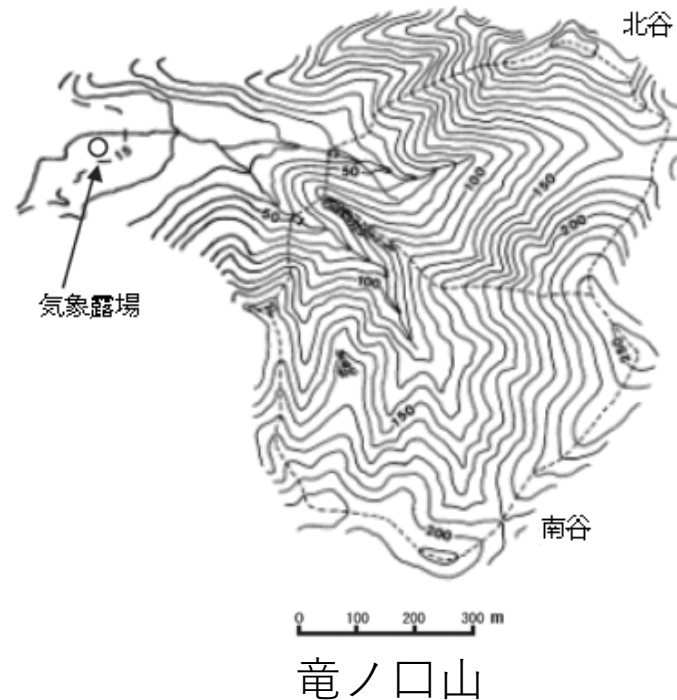
◆：基準期間、○：処理期間

破線：◆の回帰直線、点線：○の回帰直線

y_s ：破線の式と相関係数、 y_t ：点線の式と相関係数

玉井（2021）に加筆

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/



事例	試験地	基準流域 (流域面積)	処理流域 (流域面積)	基準期間	処理期間	処理流域での出来事
1	竜ノ口山	北谷 (17.274ha)	南谷 (22.611ha)	1937-1958 1966-1977 1998-2002	1960-1965 1981-1996	林野火災(1959年9月) マツ枯れ(1978～1980年)
2	釜淵	1号沢 (3.060ha)	2号沢 (2.482ha)	1939-1947 1983-2005	1948-1982	皆伐(1947年12月～1948年夏) 約2割の林地が裸地の状態(1987年4月)
3			3号沢 (1.540ha)	1961-1963 1985-2005	1964-1984	斜面下部の部分皆伐(1964年1, 2月) 斜面上部の部分皆伐(1969年12月)

事例 1：竜ノ口山試験地 南谷流域

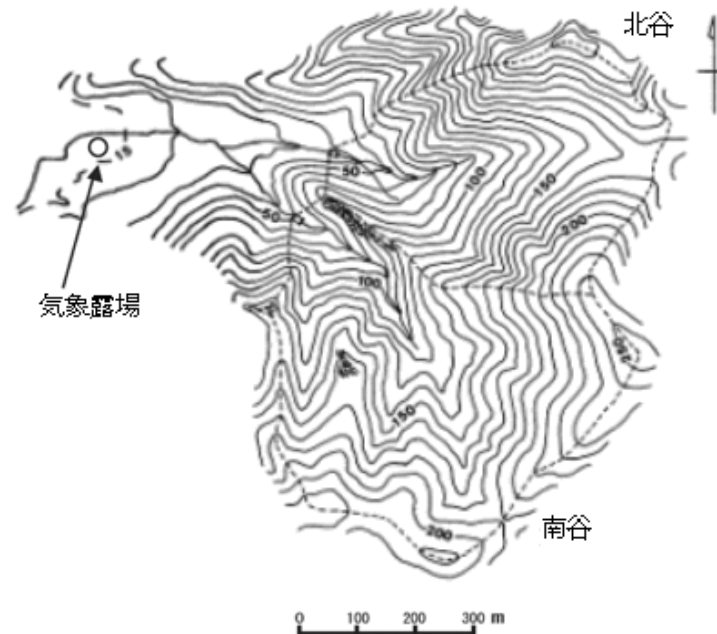
年	南谷
1959	林野火災（9月）
1960	クロマツ植栽（3月）
1978~1980	マツ枯れ



被災後、速やかに植栽



被災後、自然回復にゆだねられるも、マツ以外の樹木は健在で、根系が生存



竜ノ口山

玉井（2021）

事例 2：釜淵試験地 2号沢流域

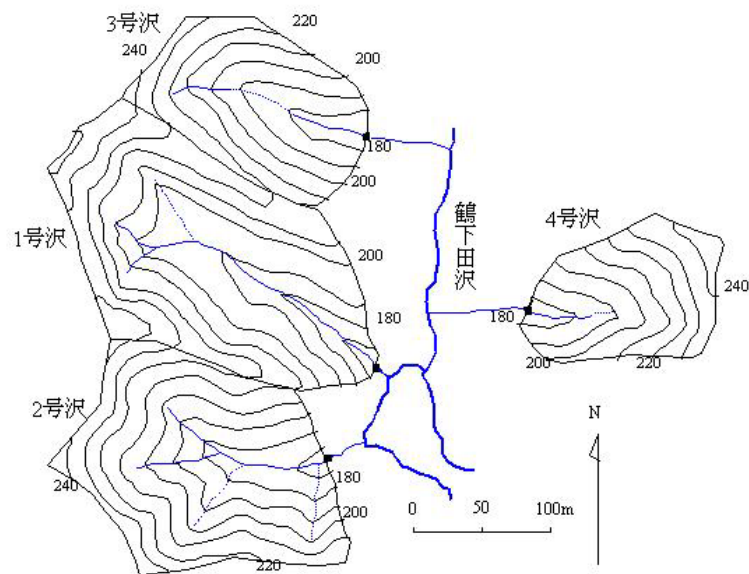
年	2号沢
1947	針葉樹伐採 (12月)
1948	広葉樹伐採 (~夏)
1960	スギ植栽



伐採後、速やかに植栽されず。
切株が斜面の積雪を安定化
1959年：流域内の半分以上が雪崩常襲地



スギ植栽後も、斜面崩壊や雪崩により
成長不良
1978年：流域内の約2割が裸地化



釜淵

玉井 (2021)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/

事例 2：釜淵試験地 3号沢流域

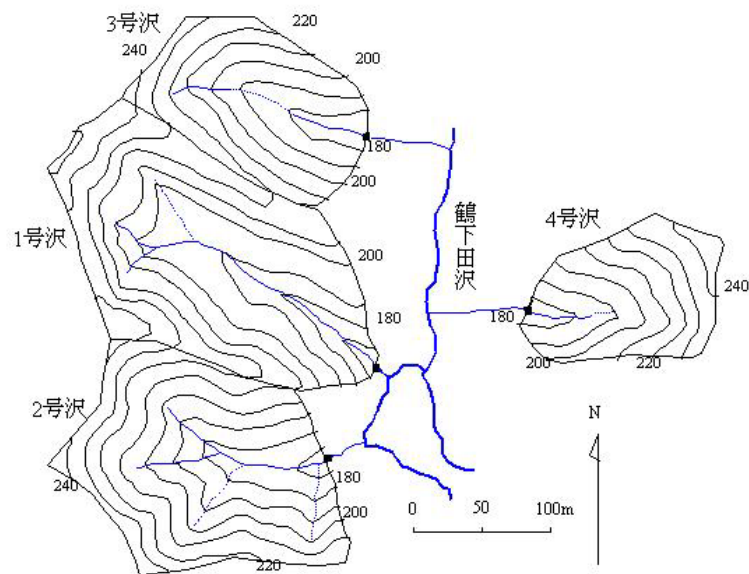
年	3号沢
1964	流路沿い50%を 皆伐（2～3月）
1969	尾根沿い50%を 皆伐（12月）
1970	スギ植栽 （春～梅雨期）



斜面上部の樹木を残して、
伐採量を制限



伐採後、速やかに植栽



釜淵

玉井（2021）

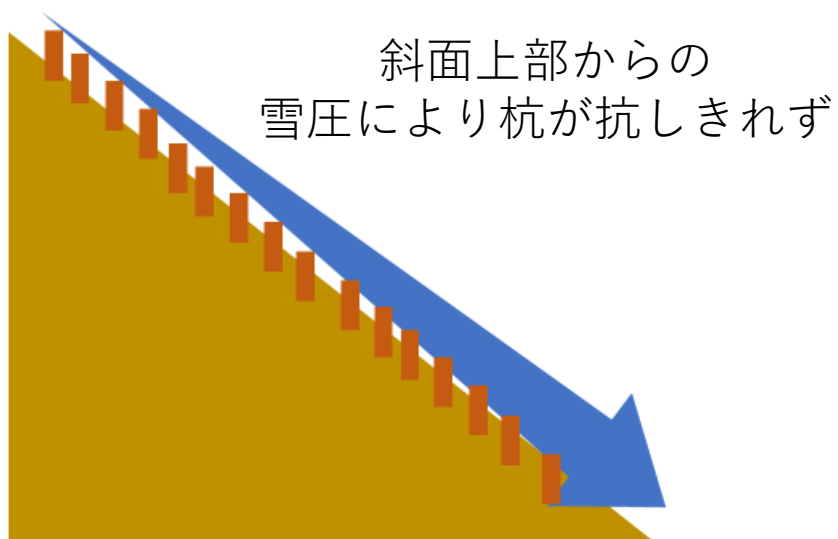
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/34/4/34_243/_article/-char/ja/

釜淵試験地 2号沢、 3号沢流域

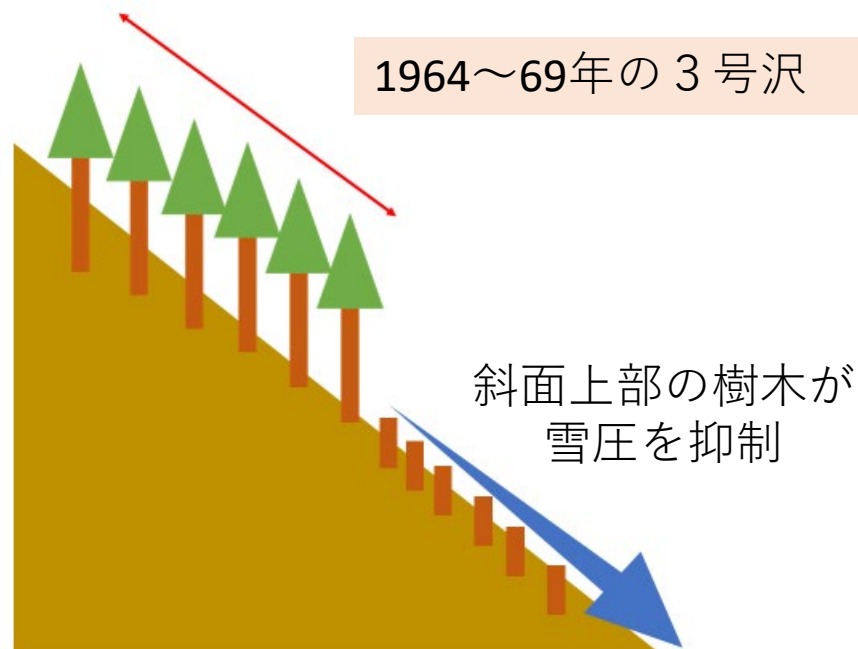
年	2号沢
1947	針葉樹伐採 (12月)
1948	広葉樹伐採 (~夏)
1960	スギ植栽

年	3号沢
1964	流路沿い50%を 皆伐 (2~3月)
1969	尾根沿い50%を 皆伐 (12月)
1970	スギ植栽 (春~梅雨期)

1948年以降の 2 号沢



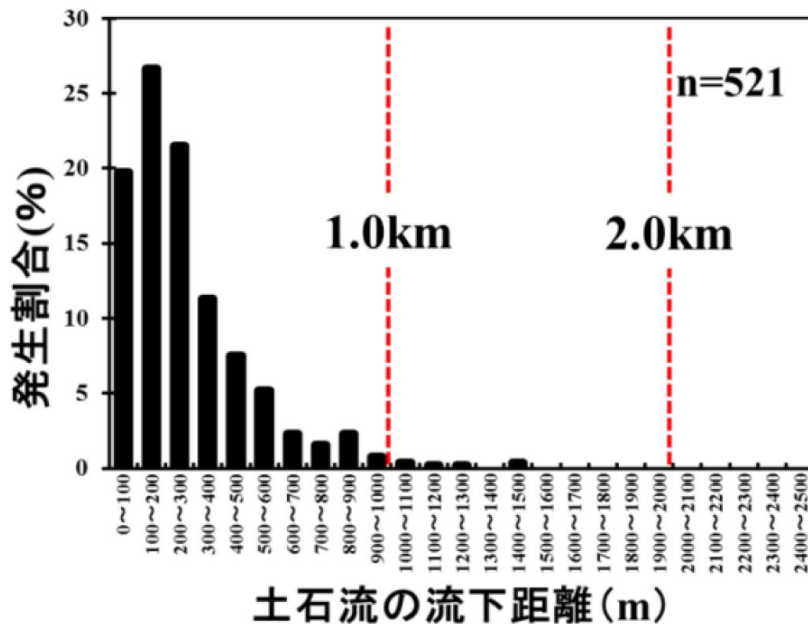
1964~69年の 3 号沢



2) 災害発生リスクのより高い場所の判定

特に注意が必要な場所

- ・ 保安林
- ・ 斜面崩壊が生じたら、保全対象まで土石流が到達する場所



保全対象から離れた場所での崩壊のため、
保全対象には被害の無かった事例

2) 災害発生リスクのより高い場所の判定

崩壊が発生しやすい場所の条件

- ・急傾斜
- ・地盤の風化が進んだ場所
- ・地下水の集中する場所
- ・斜面土壌の移動が認められる場所

具体的には

- ・ゼロ次谷
- ・断層地形
- ・地すべり地形
- ・地質境界
- ・崩積土（沖積錐）



コンクリート施設などの被害は、
斜面土壌の移動による

CS立体図

どこが危険地形か？

地すべり

崩壊地

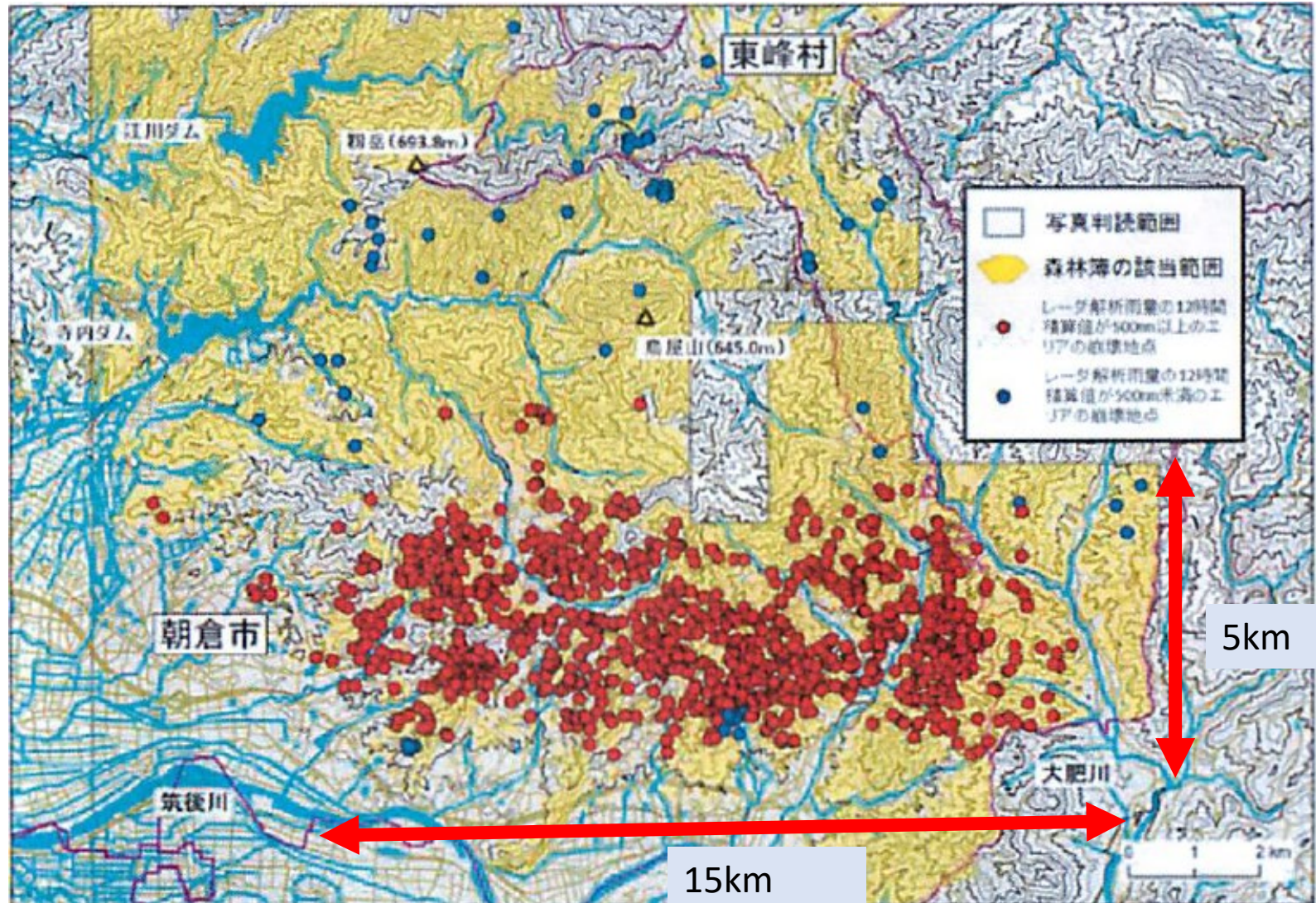
深層崩壊跡



地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易

現地判定が必要な場所の抽出に有効

2017年九州北部豪雨災害にて



- : 500mm以上の地点での崩壊地点
- : 500mm未満の地点での崩壊地点

(7月5日10～22時の12時間積算降水量にて) (村上ら, 2018)