

1. はじめに

皆伐、植栽などの森林施業は斜面の安定性を変化させる原因となる。土砂災害の誘発あるいは河川への多量の土砂供給に伴う河川生態系の破壊を防ぐためにも、崩壊・土石流のリスクを考慮した森林施業が求められる。これまで森林施業に伴う斜面の安定性の変化を解明するため、多くの研究が行われてきた。現地における崩壊・土石流は森林施業のみならず地形、地質条件等が複雑に入り組んで発生するものであるが、それらの条件を考慮して森林施業の影響を評価した研究事例は乏しい。そこで本研究では、奈良県十津川村にある三興林業（株）の造林地（以下三興流域とする）を対象に、森林施業が崩壊・土石流の発生に及ぼす影響を検討した。

2. 調査地概要および調査方法

三興流域（8.5 km²）は奈良県と和歌山県の県境に位置し、熊野川支流神納川の源流部を占める。地質は第三紀四万十層群の砂岩・泥岩が流域全体にわたり分布しており、また流域内の傾斜分布の偏りはほとんどない。スギを主体とした長期的な輪伐（約90年）が行われており、過去のいずれの年においても比較的林齢に偏りがみられない。そのため、三興流域は森林伐採の影響を評価するのに適した流域であるといえる。皆伐は支流単位（10 ha程度）で行っているため、支流内の樹齢は比較的一様である。皆伐後1~2年で新植が行われる。年降水量は2500 mmであり、冬季（12月から翌年2月）の降水量は年降水量の10%程度である。流域内では顕著な積雪がみられず、積雪が崩壊・土石流の発生に及ぼす影響は小さいと考えられる。

流域内での崩壊・土石流の発生状況を白黒空中写真（撮影：1964, 1965, 1967, 1971, 1984, 1989, 1994, 1998, 2003年）とカラー空中写真（1976年）の立体視により調べた。各年に確認された崩壊・土石流のうち、その以前の写真で確認されなかったものを新規崩壊・土石流とした。判読された崩壊・土石流の発生位置・地形・施業の履歴をGISソフト（ArcGIS）を用いて解析した。また現地踏査を行い、空中写真で判読された崩壊の一部の確認を行った。三興流域内で発生する崩壊の20%程度は林道周辺で発生するものであるが、本研究では森林の伐採・新植が崩壊の発生に及ぼす影響を明確にするため、林道周辺の崩壊を解析から除外した。三興流域内の一部には1912~1916年に植栽されたスギ・ヒノキ林が存在する。この林は森林伐採の影響から回復していると考え、対照区とした。

4. 結果および考察

4.1 森林伐採後の崩壊・土石流発生頻度の変化

伐採後の経過年数に伴う新規崩壊・土石流の発生頻度を図-2に示す。発生頻度は、対象とする経過年に属する森林の総面積で新規崩壊・土石流の個数を除したものである。図-2によると伐採から10年以内で崩壊の発生頻度が最も高い。その後、経過年とともに発生頻度が減少し、伐採後25年程度で対象区とほぼ同様の発生頻度となる。このような崩壊の発生頻度の変化は、伐採木の根系の強度低下、あるいは植栽木の根系の成長によって説明される斜面の安定性の推移と類似する（塚本, 1987; Sidle, 1992）。一方、土石流の発生頻度に注目すると崩壊と同様に伐採直後に発生頻度が最も高い。その後の発生頻度の変化は崩壊と比較して緩やかである。伐採後25年以上経過す

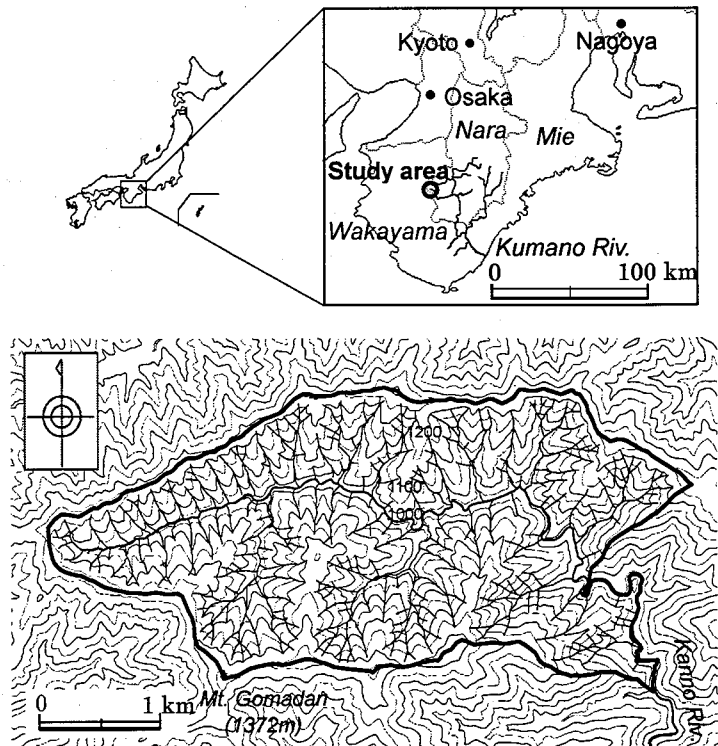


図-1 三興流域の位置図および地形図

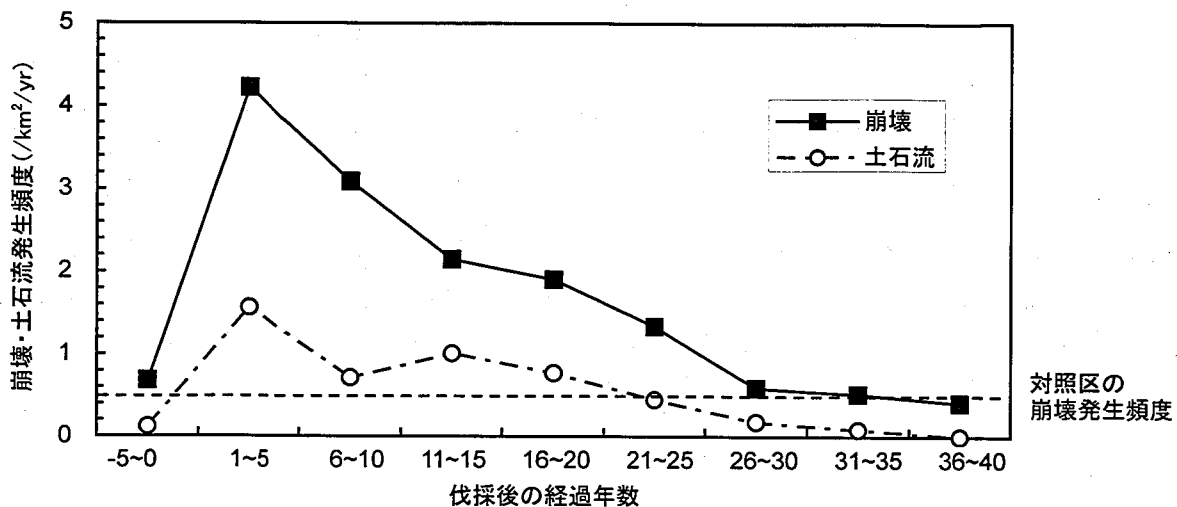


図-2 伐採後の年数の経過に伴う崩壊・土石流発生頻度の変化

ると土石流発生頻度が限りなくゼロに近づく。

4.2 地形と森林伐採の影響

根の影響を考慮した斜面の安全率 (FS) は以下の式により求められる。

$$FS = \frac{\Delta C + C + [(Z-h)\{(1-n)\gamma_s + nS\gamma_w\} + h(1-n)(\gamma_s - \gamma_w)]g \cos^2 \alpha \tan \phi}{[Z(1-n)\gamma_s + (Z-h)nS\gamma_w + hn\gamma_w]g \sin \alpha \cos \alpha} \quad (1)$$

ただし ΔC : 根系の粘着力, C : 土の粘着力, Z : 土層厚, h : 飽和層の厚さ, n : 間隙率, S : 不飽和部分の飽和度, γ_s : 土の単位体積重量, γ_w : 水の単位体積重量, α : 斜面の傾斜, $\tan \theta$: 土の内部摩擦角, g : 重力加速度である。根系が斜面安定 (せん断抵抗力) に及ぼす相対的な影響力が、分子第一項の大きさが分子全体に占める割合で示されると考え、三興流域の代表的な値 $c = 3000$ (Pa), $n = 0.4$, $S = 1$, $\gamma_s = 2600$ (kg/m³), $\gamma_w = 1000$ (kg/m³), $g = 9.8$ (m/s²), $\phi = 38$ (degree), および $\Delta C = 10,000$ (Pa; Sidle, 1992) を(1)式へ代入し、傾斜の変化に伴う根系の斜面安定に対する影響力の変化を調べた (図-3)。図-3 によると急傾斜ほど根系が斜面安定に及ぼす影響力が大きいことがわかる。三興流域における傾斜ごとの崩壊発生頻度を 1. 斜面の安定性が回復した時期 (伐採後 26~40 年), 2. 伐採直後の斜面が不安定な時期 (伐採後 1~10 年) 年について調べた (図-4)。伐採後 26~40 年は傾斜の増加に伴う崩壊発生頻度の増加が明確ではないのに対し、伐採後 1~10 年では傾斜の増加に伴う崩壊発生頻度の増加が顕著である。つまり、伐採に伴う斜面の不安定化は傾斜が急になるほど著しく、この結果は図-3 の傾向と一致する。

5. おわりに

奈良県三興流域における崩壊発生頻度を調べた結果、既往の研究によって提案されている根系強度の低下・回復によってその傾向が説明されることがわかった。今後は地形以外の要因が森林施業が斜面崩壊に及ぼす影響にどのように関わっていくのかを明らかにする予定である。

引用文献 塚本良則 (1987) 東京農工大学農学部演習林報告, 23, p. 65-124; Sidle, R.C. (1992) *Water Resour. Res.* 28, p. 1897-1910

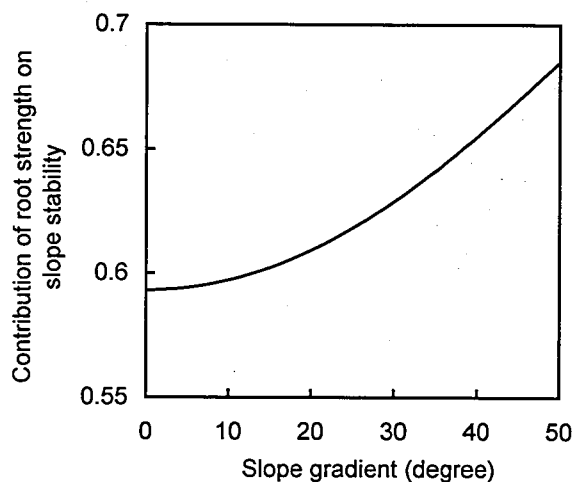


図-3 傾斜の変化に伴う根系の斜面安定への影響力の変化

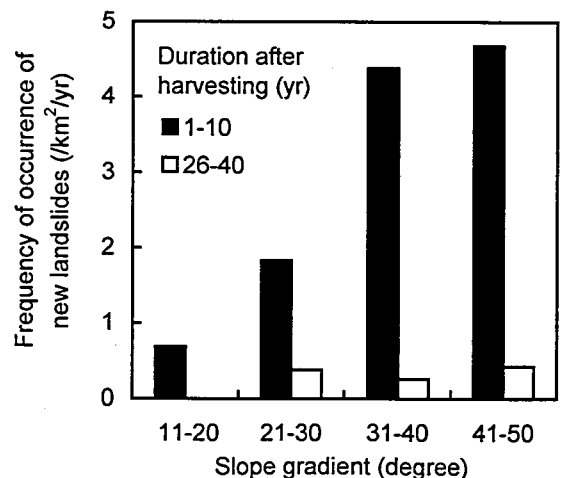


図-4 傾斜の変化に崩壊発生頻度の変化