

問 03-8	間伐の実施は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>一般に間伐は林内の光環境を改善し下層植生を増大させる(根拠⑪)ため、雨滴侵食や表面侵食による林地侵食を大きく低減する効果がある(根拠③、⑧、⑨、⑬)。</p> <p>とくに、間伐遅れのヒノキ林では林床堆積物の撥水性(根拠⑳)や、降雨時のクラストの形成によって降雨が浸透しにくく表面流が発生しやすいため(根拠①、⑬、⑭、⑳)、荒廃しやすい特徴がある。また、林床の荒廃は土壌の劣化や栄養分の流出にもつながる(根拠⑥、㉒)。ただし、土壌侵食の抑制効果には気候や下層植生のタイプによる違いがある(根拠④、⑮、㉓)ため、土地条件を考慮する必要がある。このような荒廃人工林からの土砂流出は、大きな流域スケールでも大きな影響があるという見方がある(根拠⑩)一方で、流域が大きくなるとスケール効果で荒廃人工林からの土砂流出や出水の影響は小さくなるという見方もあり(根拠⑱)、人工林の荒廃が大流域スケールでの水や土砂の流出にどのような影響を与えているかについては不明の点が多い。</p> <p>また、間伐の崩壊防止機能については、かつては否定的な見方もあった(根拠⑫)が、近年では根系の伸長と肥大化を促して崩壊機能防止に一定の効果があるという見方も多い(根拠⑰、㉑、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘)。このように、近年の研究で間伐の土砂災害防止機能や土壌保全機能への影響については、リスクを低減する効果があるという研究成果が多く得られている。</p> <p>ただし、きめの細かい間伐のためには作業道が必要となるが、作業道から流出する土砂量は非常に大きく(根拠⑯、⑰、㉑、㉒)、実際に間伐を行う際にはこれを低減することが重要になる。また、過度の間伐は土砂災害の防止や土壌保全の上でマイナスであり(根拠㉚)、間伐の強度についても一定の制限が必要と考えられる。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (9)	<ul style="list-style-type: none"> 間伐遅れのスギ林、ヒノキ林では林床面が裸地化しており、広葉樹林や管理されたヒノキ林に比べて流出水に表面流出が寄与する割合が高い。 <p>発表年：2009／著者：境優他 4 名／掲載誌：日本緑化工学会誌 = 35(2), 306-317, 2009-11-30 / タイトル：森林植生の樹種および管理状態が小流域の短期流出特性に及ぼす影響</p>	図-5
② (18)	<ul style="list-style-type: none"> 森林回復が水流出に与える影響は地質によって変化する。 岩盤の亀裂への浸透が顕著な花こう岩流域では森林土壌の変化による流出の変化が生じにくい。 <p>発表年：2010／著者：藏本康平／掲載誌：水文・水資源学会誌 23(1), 32-42, 2010-01-05 / タイトル：森林回復が流出に及ぼす影響：地質の異なる 2 流域における検討</p>	表-3

<p>③ (25)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 急傾斜地のヒノキ人工林（和歌山県田辺市）において、土砂受け箱法によって処理前後4年間にわたる表土移動量を測定し、皆伐（100%）、強度間伐（50%）、通常間伐（20%）による表土移動量の影響を評価した。 細土、土砂、リターの各移動量は、間伐による変化量は皆伐区に比べて小さかった。 皆伐や強度間伐においては植生回復の増加による土砂移動量抑制効果が伐倒処理などの人為的な地表攪乱によって相殺された可能性が考えられた。 急傾斜ヒノキ人工林で森林管理を行う場合、作業時の地表攪乱を最小限にすることと、速やかな植生回復を促すことを調和させることが林地の土壌を保全するうえで重要であると考えられた。 	<p>図-1</p>
<p>発表年:2012/著者:中森由美子/掲載誌:日本森林学会誌 94(3), 120-126, 2012/タイトル:急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土, 土砂, リター移動量の変化</p>		
<p>④ (30)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高知県下のヒノキ人工林に28の調査プロットを設け、下層植生に対する強度間伐の影響と、通常の管理下での下層植生の動態を調べ、三つの温度域（ウラジロ・コシダ域, カシ域, 落葉樹域）と光要求度の異なる六つの生活型（ウラジロ・コシダ, 陽性草本, 林床草本・地表植物, 常緑木本, 落葉木本, ササ）を考慮してとりまとめた。 強度間伐が被度折数に及ぼす影響は生活型によって異なった。また、同じ生活型でも温度域によって異なる反応を示すものがあった。 土壌浸食の抑制効果には生活型による違いが認められる。また、光要求度の異なる生活型の構成が気候帯によって異なるため、収量比数と植被率の関係のばらつきが大きくなる。 下層植生管理による土壌保全を目的として密度管理モデルの実用性を高めるためには、必要な区別を行い、それぞれの区分ごとに収量比数と植被率関係のデータを集積することが課題である。 	<p>表-4</p>
<p>発表年:2006/著者:深田英久/掲載誌:日本森林学会誌 88(4), 231-239, 2006-08-01/タイトル:土壌保全からみたヒノキ人工林の下層植生の動態と植生管理への応用</p>		
<p>⑤ (31)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 林地表層における雨滴侵食保護の観点から林床植生の効果を明らかにするために、急傾斜地にあるヒノキ, スギ, アカマツ, 落葉広葉樹林の林床の被覆状態を評価した。 スギ, アカマツ, 落葉広葉樹林の林床被覆率は、林齢によらず常に90%以上で高かった。 ヒノキ林の林床被覆率は、10年~20年生の幼~若齢期に著しく低下し、40年生後の壮齢期に林床植生が回復し始めるまで低い状態が続いた。これ 	<p>図-5</p>

	<p>は他の樹種には見られないヒノキ林特有の現象であり、急傾斜地にあるヒノキ林では堆積リターだけにより林床被覆を維持することは困難であると推論される。</p>	
	<p>発表年：2000／著者：三浦覚／掲載誌：日本林學會誌 82(2), 132-140, 2000-05-16／タイトル：表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価</p>	
<p>⑥ (33)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・現地試験枠を用いた野外観測を行い、森林伐採が流亡土量と栄養塩類濃度に与える影響を評価した。 ・林地区で観測された流亡土量の範囲内においては、林地区における栄養塩類の流出は裸地区を上回った。 ・裸地区では著しい流亡土量が栄養塩類の流出を増大させていた。また、A0層と植被に分けてUSLE式中の植物管理因子を比較したところ、植被の保全効果はA0層の1.5倍であることが実験より示された。 	<p>Table-4</p>
	<p>発表年：2003／著者：三原真智人／掲載誌：農業土木学会論文集 71(2), 167-173, 2003-04-25 /タイトル：傾斜地の森林伐採による土壌および栄養塩類の流出特性</p>	
<p>⑦ (35)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・欧米の農耕地においては提案された土壌流出を予測するモデルを用いて森林流域における土壌流出を防止する方策を立案するための問題点について検討した。 ・林内の光環境の悪化により下層植生が減少することによる侵食の増大など、森林からの土壌侵食を促進もしくは抑制するメカニズムを解明し、単一斜面や小流域を対象とした従来の土壌流出モデルに組み込む必要がある。 	<p>図-1</p>
	<p>発表年：2012／著者：池田英史／掲載誌：水文・水資源学会誌 25(6), 396-409, 2012 /タイトル：森林流域からの土壌流出の実態・支配因子と予測モデル開発の現状と課題</p>	
<p>⑧ (42)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ純林へのアカマツの混交と林床のササが土砂とリターの流亡防止に及ぼす影響を定量的に把握した。 ・ヒノキ純林にアカマツやササが侵入すると年間侵食土砂量は1/4～1/8、流亡リター量は1-1/2程度にまで減少した。また、A0層の一部を除去すると侵食土砂量と流亡リター量は大幅に増加した。 ・土砂とリターの移動は、斜面を流下する地表流よりも降雨因子、特に10分間最大降雨強度と降雨エネルギーに強く依存すると推察された。人工降雨 	<p>Fig.18</p>

	<p>実験から推定された侵食土砂量と落葉堆積量の指数関数式から、ヒノキ・アカマツ混交林において許容限界侵食土砂量を維持するのに必要なリター堆積量は 5・7ton/ha であると推定した。</p>	
	<p>発表年：1992／著者：服部重昭／掲載誌：森林総合研究所研究報告 (362), p1-34, 1992-01 /タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響</p>	
⑨ (43)	<ul style="list-style-type: none"> 石川県内の加賀地域と能登地域のスギ、ヒノキ、アテ人工林において下層植生の被度の異なる地点で土壌流出量を測定した。 いずれの地点でも被度が疎の場合、被度が中や密に比べて土壌流出量が多かった。 	図-1
	<p>発表年：2008／著者：小倉晃／掲載誌：石川県林業試験場研究報告 (40), 27-28, 2008-04 /タイトル：林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量</p>	
⑩ (49)	<ul style="list-style-type: none"> 人工林の間伐の効果について、代替法によって費用分益分析を行った。 荒川上流域を対象に1ヘクタール当たりの人工林を整備すると、水源涵養機能と洪水防止機能において年間10万円ほどの便益が得られると推定された。これは農林水産省育林費調査報告書における埼玉県における人工林管理費用の71400円を上回っており、人工林を管理することで3万円ほどの便益が生まれていることになる。 林業への補助金政策は既に放置され荒廃している人工林の管理に対しては効果が小さい。 人工林管理を新たな公共事業としてとらえて、林業の不振から放置されている人工林を行政機関が直接管理し、従来の公共事業と組み合わせて代替案を立案することを提案することや、私有人工林に対して公益的機能を高度に発揮させるべき人工林には税額等によって経済的誘導政策を行う事を提案する。 	
	<p>発表年：2000／著者：小林慎太郎／掲載誌：地域学研究 31(3), 237-250, 2000 /タイトル：人工林の公益機能の評価と管理政策の検討</p>	
⑪ (50)	<ul style="list-style-type: none"> 長伐期施業等、人工林の高齢級化による下層植生現存量の変動を明らかにするために、トドマツ林を21林分について下層植生現存量と光環境条件を調査した。 下層植生直上の相対光強度は上層林冠構成木の立木密度の逆数を用いて推定することができた。 下層植生現存量は光環境条件および除間伐作業後の経過年数に影響されていた。 長期間施業が行われない場合には下層植生の炭素貯留機能に大きな期待を持ってない。 	図-6
	<p>発表年：2007／著者：宇津木玄／掲載誌：日本森林学会誌 89(3), 174-182, 2007-06-01 /タイトル：人工林施業に伴うトドマツ人工林内下層植生現存</p>	

	量の変化	
⑫ (61)	<ul style="list-style-type: none"> ・立木密度 1400 本/ha の間伐林分と 3400 本/ha の非間伐林分における根系分布状態を比較調査した ・間伐された木の根が徐々に腐朽して崩壊防止機能が減少する過程を根の引き抜き試験によって調査したところ、間伐後約 10 年で根の引き抜き抵抗力は消失することが明らかになった。 ・間伐・非間伐林分における崩壊防止力の変化を評価するためのシミュレーションをしたところ、強い間伐を多く実施した林分の方が崩壊防止力は低いことが示された。 ・表層崩壊が多発しやすい 20 年生以下の幼齢林では間伐の影響が現れることはなかった。 ・20 年生以上の林分で一般的な強度の間伐が行われても、斜面安全率が 1.0 を下回らないことが示された。 ・間伐は病中害や気象害などに強い健全な森林を造成するために実施し、その結果として必然的に崩壊防止機能も発揮されると考えるべきである。 <p>発表年：2010／著者：阿部和時／掲載誌：日本地すべり学会誌：地すべり 41(3), 225-235, 2004-09-25 / タイトル：間伐が森林の持つ表層崩壊防止機能に及ぼす評価手法の開発</p>	図-10
⑬ (72)	<ul style="list-style-type: none"> ・管理放棄された針葉樹林流域 (1. 29ha) と天然生広葉樹林流域 (1. 28ha) の短期流出特性を定量的に比較した。 ・針葉樹林流域ではピーク流出水量と直接流出量が非常に大きく、広葉樹林流域の約 1.4-3 倍であった。 ・管理放棄されたヒノキ人林では、降雨に対する地表流の流出応答が非常に大きく、広葉樹林の約 2.4 倍の地表流が流出していた。 ・ヒノキ林の斜面末端部では地表流の約 4.0-4.7 倍に相当する選択的な表層流 (バイオマットフロー) が細根の密集する土壌表層部を流下していた。 ・ヒノキ林斜面と広葉樹林斜面では土壌表層部の地中水の挙動に大きな違いがみられ、広葉樹林では雨水がすみやかに深部浸透したのに対し、ヒノキ林では土壌深部への浸透が遅れる傾向がみられた。 ・土壌表層部における水流発生機構や地中水の挙動は流域の知期流出特性と密接に関連しており、管理放棄された針葉樹林流域では、地表流や選択的な表層流が速い流出成分として、流出ピークに大きく寄与している可能性が示された。 <p>発表年：2008／著者：平野智章／掲載誌：地形 29(3), 255-280, 2008-07-25 / タイトル：管理放棄されたヒノキ人工林および天然生落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構</p>	Fig.13

<p>⑭ (76)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・荒廃が著しいヒノキ人工林を含む5つの観測サイト（愛知，高知，三重，長野，東京）設定し，施業履歴の異なるヒノキ人工林，スギ人工林，カラマツ人工林の他，比較対象として広葉樹林について水文観測，水質分析等の比較を行った。 ・プロットスケールの水流出観測から，従来浸透能が十分に高いとされていた広葉樹林においても表面流が発生する。 ・ヒノキ人工林での表面流発生には，雨滴衝撃による土壌クラスト形成の他に，撥水性が影響している可能性がある。 ・空間スケールの違いによって直接流出量が異なる。 ・TOPOTUBE というモデルを用いて流域内の浸透能をランダムに変化させたり，林床の被覆状態の差異に応じて浸透能を与えたりすることで，流域内の浸透能の空間的不均一性を評価した上で流出を再現できた。 ・林床被覆が様々に異なるヒノキ人工林の林床において，森林内の雨滴衝撃を再現した振動ノズル式散水装置を用いて浸透能を測定したところ，浸透能と林床被覆の乾重量との間に直線型の回帰式で表せる正の相関が確認された。 ・流出水の酸素同位体比から，洪水イベントのピーク流出時において，ヒノキ林の方が広葉樹林より新しい水の割合が高いことが示された。 	
<p>発表年：2004／著者：恩田裕一／掲載誌：日本地理学会発表要旨集 = (65), 116, 2004-03-27 / タイトル：人工林の荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響</p>		
<p>⑮ (81)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・スギ・ヒノキ人工林で間伐によって土壌保全機能が向上するかを検証した。 ・6地点の森林で30%の間伐を行った、 ・間伐後3年目の下層植生の植被率はスギ人工林では50%以上に増加したのに対して、ヒノキ人工林では10%未満と低かった。 ・間伐後の土砂流出量はスギ人工林では減少か同程度であったが、ヒノキ人工林では増加した。 ・ヒノキ人工林では間伐前に下層植生がほとんどない場合、本数30%の間伐では土砂流出の抑制は期待できない。 	<p>図3</p>
<p>発表年：2014／著者：奈良雅代他3名／掲載誌：東京都農林総合研究センター研究報告(9), 7-14, 2014-03 / タイトル：東京都多摩地域スギ・ヒノキ人工林における間伐後3年間の土砂流出量の経年変化</p>		
<p>⑯ (86)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・作業道が入っている荒廃ヒノキ人工林と作業道の無い荒廃ヒノキ人工林において、¹³⁷Csと²¹⁰Pbを用いて浮遊土砂の起源について検討した。 ・作業道がない流域では富裕土砂のほとんどは林床 	

	<p>起源であったが、作業道があるヒノキ人工林の渓流水では、作業道起源の浮遊土砂が多く含まれていた。</p>	
	<p>発表年：2007／著者：恩田裕一／掲載誌：土と基礎 55(8), 16-19, 2007-08-01 /タイトル：森林の荒廃による表面流出の発生および細粒土砂の河川への流出(小特集)水環境)</p>	
⑰ (91)	<ul style="list-style-type: none"> 作業路では林内と比較して細土、礫、有機物の移動量がそれぞれ、7・20、5・35、1・10 倍多かった。 スギ枝条を作業路に散布したところ、細土、礫、有機物の移動量はそれぞれ、1/2～1/8、1/3～1/20、1/6 以下に減少した。 	図-11
	<p>発表年：2004／著者：恩田裕一／掲載誌：日本地理学会発表要旨集 = (65), 116, 2004-03-27 /タイトル：人工林の荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響</p>	
⑱ (108)	<ul style="list-style-type: none"> ヒノキ林の林床植生が表面流の発生に与える影響は、降雨強度が大きいほど大きくなる。 林床植生がある斜面でも表面流の発生が見られ、表層土壌の撥水性や、クラスとの形成が影響していると考えられる。 表面流の流量は大プロットのほうが小プロットより小さくなる傾向があり、根茎や窪地貯留によって土壌中への浸透が促されるスケール効果によるものと考えられる。 林床植生の有無によってホートン型表面流の寄与が大きくなる。 	図7
	<p>発表年：2010／著者：五味高志／掲載誌：水利科学 53(6), 77-94, 2010 /タイトル：ヒノキ人工林流域における表面流の発生と流域の降雨流出特性</p>	
⑲ (116)	<ul style="list-style-type: none"> 水平根の崩壊抵抗力に注目して、4 樹種 4 立木を対象に根の引き抜き試験を行った。 スギ、ヒノキの根の根径に応じた引き抜き抵抗力と既往文献から、スギ科>ヒノキ科>マツ科の強度順と考えられた。 広葉樹ではサワフタギは弱くイヌシデは中庸であった。ただし、ばらつきが大きくデータの蓄積が必要である。 水平根の分布データに基づき、断面抵抗力 ΔC を算定したところ、ばらつきが大きく同じ 40 年生のヒノキに限っても 3~20 [kN/m³] の値をとった。 伐採時の ΔC が 0~10 [kN/m³] 程度と小さい林分では、林齢に見合った適切な密度管理がなされれば林齢の増加に伴う ΔC の増加が推定される。 	図-10
	<p>発表年：2013／著者：木下篤彦、他 5 名／掲載誌：新砂防 = : 砂防学会誌 65(5), 11-20, 2013-01 /タイトル：スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討</p>	

<p>⑳ (123)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 三重県大紀町のヒノキ人工林内の隣接する林床が裸地化した斜面とシダで覆われている斜面で、土壌特性と水文過程を比較した。 裸地斜面とシダ斜面ともに飽和透水係数が降雨強度よりもはるかに大きかったにもかかわらず表面流が発生した。 裸地プロットの表面流はシダプロットよりもはるかに大きく、撥水性の差が小さいことを考慮するとクラスとの形成により表面流発生が増加したと推定された。 	<p>図 2</p>
<p>発表年：2006／著者：宮田亮介／掲載誌：日本森林学会大会発表データベース 117(0), 473-473, 2006／タイトル：撥水性を持つヒノキ林斜面における表面流の発生に下層植生の被覆が及ぼす影響の解析</p>		
<p>㉑ (135)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 信州大学付属手良沢山演習林における林齢の異なるヒノキ人工林斜面で間伐が及ぼす崩壊防止機能への影響を力学的に、時系列で評価した。 各調査ポイントでの立木、切り株間における最弱∠Cと間伐後経過年数は正の直線式で近似でき、危険率5%で有意であった。これは間伐をし、年数が経過することにより、間伐された木の根系が占有していた空間に、残された立木の根系が伸長したためと考えられる。 	<p>図 1</p>
<p>発表年：2008／著者：今井祐太郎／掲載誌：日本森林学会大会発表データベース 119(0), 780-780, 2008 / タイトル：間伐が及ぼすヒノキ根系の崩壊防止機能への影響</p>		
<p>㉒ (138)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 島根県奥出雲町の39年生と47年生の間伐遅れのスギ人工林と、41年生の定期的の間伐が行われたスギ人工林について、立木の形状比、相対幹距比、相対照度及び下層植生、土壌のpH、EC、CEC、塩基飽和度、化学的緩衝能力を計測し比較した。 間伐遅れのスギ人工林では、立木の形状比や相対的幹距比の値が適正な場合でも土壌環境が劣化していることが確認された。 未整備のまま放置すると土壌の酸性化が進行し、養分の流亡による森林の衰退や酸性雨に対する耐性の低下が懸念される。 	<p>図-2～図-4</p>
<p>発表年：2008／著者：田中賢治／掲載誌：日本緑化工学会誌 34(1), 227-230, 2008-08-31 / タイトル：スギ・ヒノキ人工林における土壌理化学性による森林健全度評価の試み</p>		
<p>㉓ (305)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高知県四万十町の荒廃ヒノキ人工林流域に大小の流域を入れ子状に配置し、2005年9月の台風イベントについて180と137Csを用いて生産土砂の起源を推定した。 137Csで推定した浮遊砂に対する林床の寄与率は小流域では高く、大流域では作業道からの浸食土砂の流入により低くなった。 	

	発表年：2007／著者：水垣滋／掲載誌：地形 29.1 (2008)：79. (一般研究発表会 (口頭発表), 2007 年度秋季研究発表会). /タイトル：山地ヒノキ林流域における台風イベント時の水・土砂流出過程	
②④ (311)	<ul style="list-style-type: none"> ・間伐の有無による崩壊防止機能の変化を解明するため、立木間中央部の根系分布と根直径を調査し引き抜き抵抗力の関係式より単位断面積当たりの引き抜き抵抗力合計値 (ΔC) を算出した。 ・間伐を行った森林のほうが ΔC が高い値を示した。 ・立木間隔が広くなるにつれて ΔC は低下する傾向がみられた。 ・間伐は崩壊防止機能を増加させるが強度の間伐を行うことは崩壊防止機能を低下させる場合もあると考えられた。 	図-10
	発表年：2009／著者：伴博史他 2 名／掲載誌：中部森林研究 No. 57 /間伐がカラマツ根系の崩壊防止機能に及ぼす影響	
②⑤ (312)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ人工林において立木と過去の間伐による切り株の間にトレンチを掘削して水平根の分布と直径を測定し、引き抜き抵抗力から引き抜き抵抗力の合計値 (ΔC) を算出した。 ・間伐を行った切り株と立木の間で最少となった ΔC を比較したところ、伐後 16 年で同程度となり、26 年 36 年では大きい値となった。 	図-5
	発表年：2009／著者：今井祐太郎他 2 名／掲載誌：中部森林研究 No. 56 /タイトル：間伐後の経過年数による根系の崩壊防止機能の違い	
②⑥ (318)	<ul style="list-style-type: none"> ・間伐が行われたヒノキ林と無間伐のヒノキ林において根系分布調査をし、根系の直径と引き抜き抵抗力の関係式から、単位面積当たりの引き抜き抵抗力の合計値 (ΔC) を算出した。 ・間伐が行われた林分と無間伐の林分では根系の分布状態、ΔC に差が見られ、間伐が行われた林分は無間伐の林分に比べ崩壊防止力が高いことが分かった。 	図-11
	発表年：2009／著者：今井祐太郎他 2 名／掲載誌：中部森林研究 No. 56 /タイトル：間伐後の経過年数による根系の崩壊防止機能の違い	
②⑦ (320)	<ul style="list-style-type: none"> ・様々な条件のカラマツ林において、立木間中央部の根系分布と根直径を調査し、根直径と引き抜き抵抗力の関係式より、単位面積当たりの引き抜き抵抗力合計値を算出し間伐の影響を考察した。 ・カラマツは間伐を行うと出現する根系が全体的に太くなり、崩壊防止機能も上昇する傾向がみられた。 ・この結果は、ローム質土、マサ土共に同様の傾向がみられ、地質に関係なく間伐は根系を太くし崩壊防止機能を上昇させると考えられた。 	図-7
	発表年：2010／著者：伴博史他 2 名／掲載誌：中部森林研究 No. 58 /タイトル：カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係	

<p>⑳ (321)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・様々な立木密度のカラマツ人工林において、崩壊防止力が最弱とされる立木間中央部の根系分布調査を行い、崩壊防止力を算出し比較することで、立木密度が根系の崩壊防止力に及ぼす影響を評価した。 ・崩壊防止力は、立木密度 1000 本/ha 程度までは間伐の効果で上昇していくが、立木密度が 1000 本/ha より小さくなると、崩壊防止力は低下する傾向が見られた。 ・カラマツ林に斜面安全効果を期待するには立木密度を 1000 本/ha 程度とすることが重要であると考えられた。 	<p>図-7</p>
<p>発表年：2011／著者：伴博史他 2 名／掲載誌：中部森林研究 No. 59 / タイトル：カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係</p>		
<p>㉑ (402)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道岩見沢市郊外の 2ha 余りの約 40 年生トドマツ林で、斜面方向の集材路、25 年前の間伐列（対照区）、2008 年の間伐列、皆伐跡地において、流出土砂量、林床状況、表土流出量に関わる要因解析を行った。 ・表土流出量は集材路が最大で、対照区ではほとんど表土流出は見られなかった。 ・皆伐跡地では対照区の 20 倍程度の表土流出があったが、その翌年には 3.5 倍と激減した。 ・集材路では輻由来の地表流が見られる箇所、2009 年に 2000g/m を超える土砂流入が観察された。 ・各処理区の林床植生は、伐採翌年の皆伐地では 50% 以上の場所が土が露出していたが、2 年目にはいずれも対照区と同程度の被度となった。 ・表土流出量と各因子との関係を解析した結果、林床被覆率の寄与が最も大きく、次いで積算降水量となり、土壌硬度の寄与はあまり大きくなかった。 ・林床被覆率と表土流出量の関係を見ると、50% 付近で 1000g/m を超える流出量も観測されているのに対して、60% 以上になると 300g/m 以下と急減しており、表土流出が起きやすい閾値の存在がうかがえた。 	<p>図-5</p>
<p>発表年：2011／著者：長坂有ほか 4 名／掲載誌：日本森林学会北海道支部論文集、59 号／タイトル：森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響</p>		

<p>③⑩ (404)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・鹿児島県宇検村の芦剣の皆伐地と赤土山の帯状伐採地で土砂移動量を計測した。 ・芦剣では伐採区より対照区において土砂移動量が多いが、赤土山では対照区よりも伐採区で土砂移動量が大きかった。 ・芦剣では伐採区においても植生回復が進んでいたが赤土山では下層植生の回復は十分ではなく、このため地域による植生回復の違いが土砂流出に現れたと考えられた。 	<p>図-5 図-6</p>
<p>発表年：2011／著者：岩智洋 ほか2名／掲載誌：九州森林研究 64 / タイトル：鹿児島県奄美大島における森林伐採後の土砂移動量の観測</p>		
<p>③⑪ (405)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・岡山県北部の19～38年生ヒノキ15林分において、1年間にわたって月侵食土砂量を測定し、10、30、60分間最大降雨強度および月降水量から導かれる降雨因子との関係を保育区と放置区に分けて調べた。 ・放置区、保育区ともに、月降水量、降水指数、降雨加速指数と月侵食土砂量との関係はべき乗式が成り立った。10、30、60分間最大降雨強度の月積算値と月侵食土砂量との間にもそれぞれべき乗式が成り立ったが月降水量、降水指数、降雨加速指数との場合に比べていずれも相関係数は低い傾向がみられた。 ・降水指数(P I60)のべき乗式の係数bに着目すると保育区ではべき乗式の係数bは0.3～0.55であったのに対し、放置区では0.52～0.76の範囲にあり、保育区の方が係数bの値が低く、樹冠投影面積合計、相対照度、下層植生の植被率といった樹冠の閉鎖状況に対応していると考えられる 	<p>図-3</p>
<p>発表年：2003／著者：西山嘉寛／掲載誌：森林応用研究 12 / タイトル：岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究 (I) 月侵食土砂量と降雨因子との関係</p>		
<p>③⑫ (407)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・同一林分で2残2伐、3残3伐、4残4伐の異なる列数の列状間伐を行った試験地において、間伐直前～間伐後7年目までの期間中の林内の光環境、下層植生、林床の被覆状況および移動土砂量の調査を行った。 ・各種の列状間伐により林内の光環境は一時的に改善され、下層植生の種数が増加した。・間伐後7年目時点において、対照区(間伐未実施)と比較し2残2伐(残存区)および2残2伐(伐採区)は林床被覆率が高く、移動土砂量が少ないことから表土流出防止効果が高かったと考えられたが、3残3伐(残存区)および3残3伐(伐採区)は移動土砂量については明確な差異が認められなかった。 	<p>図-9</p>
<p>発表年：2013／著者：宮崎潤二／掲載誌：九州森林研究、66号 / タイトル：</p>		

	異なる伐採幅の列状間伐が下層植生に及ぼす影響（Ⅱ）下層植生の繁茂と移動土砂量
--	----------------------------------------

問 03-9	枝打ちの実施は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>枝打ちが土砂災害防止機能や土壌保全機能に与えた影響を直接計測した研究はほとんど見られないが、枝打ちによって林内の光環境が改善することを考慮すれば、間伐の影響を検討した研究から（根拠①②③）その効果はある程度推定できる。</p> <p>一般に枝打ちによって林内の光量が増大すれば下層植生の増大につながるため、開空度の増大が顕著な場合は若干の土壌保全機能の増大が期待されるが、間伐に比べると光環境の改善の効果はきわめて小さいため、その効果は限定的で短期間と推定される。土砂災害防止機能への影響については不明であるが、間伐に比べると根系環境への影響が小さいことを考えれば、大きな影響があるとは考えにくい。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (25)	<ul style="list-style-type: none"> ・急傾斜地のヒノキ人工林（和歌山県田辺市）において、土砂受け箱法によって処理前後4年間にわたる表土移動量を測定し、皆伐（100%）、強度間伐（50%）、通常間伐（20%）による表土移動量の影響を評価した。 ・細土、土砂、リターの各移動量は、間伐による変化量は皆伐区に比べて小さかった。 ・皆伐や強度間伐においては植生回復の増加による土砂移動量抑制効果が伐倒処理などの人為的な地表攪乱によって相殺された可能性が考えられた。 ・急傾斜ヒノキ人工林で森林管理を行う場合、作業時の地表攪乱を最小限にすることと、速やかな植生回復を促すことを調和させることが林地の土壌を保全するうえで重要であると考えられた。 <p>発表年：2012／著者：中森由美子／掲載誌：日本森林学会誌 94(3), 120-126, 2012／タイトル：急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土、土砂、リター移動量の変化</p>	図-1
② (42)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ純林へのアカマツの混交と林床のササが土砂とリターの流亡防止に及ぼす影響を定量的に把握した。 ・ヒノキ純林にアカマツやササが侵入すると年間侵食土砂量は1/4～1/8、流亡リター量は1-1/2程度にまで減少した。また、A0層の一部を除去すると侵食土砂量と流亡リター量は大幅に増加した。 ・土砂とリターの移動は、斜面を流下する地表流よりも降雨因子、特に10分間最大降雨強度と降雨エネルギーに強く依存すると推察された。人工降雨実験から推定された侵食土砂量と落葉堆積量の指数関数式から、ヒノキ・アカマツ混交林において許容限界侵食土砂量を維持するのに必要なリター堆積量は5-7ton/haであると推定した。 	Fig. 18

	発表年：1992／著者：服部重昭／掲載誌：森林総合研究所研究報告（362）， p1-34, 1992-01／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影 響	
③ (50)	<ul style="list-style-type: none"> ・長伐期施業等，人工林の高齡級化による下層植生現存量の変動を明らかにするために，トドマツ林を21林分について下層植生現存量と光環境条件を調査した。 ・下層植生直上の相対光強度は上層林冠構成木の立木密度の逆数を用いて推定することができた。 ・下層植生現存量は光環境条件および除間伐作業後の経過年数に影響されていた。 ・長期間施業が行われない場合でも下層植生の炭素貯留機能には大きな期待を持ってない。 	図-4
	発表年：2003／著者：宇津木玄／掲載誌：日本森林学会誌 89(3), 174-182, 2007-06-01／タイトル：人工林施業に伴うトドマツ人工林内下層植生現 存量の変化	

問 03-10	皆伐の実施は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>一般に皆伐は再生林が行われても一時的に根系の崩壊防止力を低下させるため、一時的に土砂災害防止機能は低下すると考えられている（根拠③、④）。</p> <p>特に、多雪山地では積雪グライドによって荒廃が急速に進行する場合がある（根拠⑤）他、北上山地等では林地開発後に凍上と強風によって荒廃が急速に進行した例が知られている。</p> <p>皆伐によって林地は直接雨滴衝撃を受けるようになるため、皆伐後に林地からの土砂流出が増大する例は多く知られている（根拠②、③、④、⑤、⑥、⑩、⑪）。しかし、皆伐後の植生侵入によって数年で流出土砂量が急速に低下することが知られている（②）。ただし、皆伐の方法によっては、林地で植生が回復しても、作業道からの土砂流出が問題を引き起こす可能性がある（根拠⑦、⑧、⑨、⑩）。</p> <p>皆伐による流出応答には地質による差があるように（根拠①）、皆伐による崩壊リスクへの影響にも地質によって差異があることは塚本によって古くから指摘されているが、具体的なメカニズムについては不明の点が多い。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (18)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 森林回復が水流出に与える影響は地質によって変化する。 ・ 岩盤の亀裂への浸透が顕著な花こう岩流域では森林土壌の変化による流出の変化が生じにくい。 	表-1. 発表年：2010／著者：藏本康平／掲載誌：水文・水資源学会誌 23(1), 32-42, 2010-01-05 / タイトル：森林回復が流出に及ぼす影響：地質の異なる2流域における検討
② (32)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土砂流出抑制機能に配慮した森林整備棒法に関する知見を得るために、森林施業と浮遊土砂に関する過去の研究例を整理した。 ・ 従来の研究を、“立木の状態を変化させる”、“下層植生の状態を変化させる”、“土壌の状態を変化させる”の3区分に分類して浮遊土砂への影響を整理したところ、“立木の状態を変化させる”と“下層植生の状態を変化させる”の処理によって浮遊土砂濃度は数倍～10倍前後増加している。 ・ “土壌の状態を変化させる”の処理でも浮遊土砂濃度の増加がもたらされる例がある。 ・ 伐採後に増加した浮遊土砂濃度や流出量は年数が経過するにつれて徐々に減少する傾向がある。 ・ 森林施業に伴う車両走行は、法面や路面からの侵食・崩壊、土砂流出を引き起こすことがある。浮遊土砂の増加を抑制する森林管理の方法は、流路沿いの緩衝林帯の保全と出来るだけ林地をかく乱しない施業を行うことである。 	表-1 発表年：2006／著者：佐藤和弘／掲載誌：日本森林学会誌 88(1), 50-59, 2006-02-01 / タイトル：浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法

<p>③ (40)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 宮川ダムの堆砂状況の経年変化と、降雨量、流域内の森林施業の状態、崩壊面積との関係を解析した。 植栽面積と堆砂量との間には負の相関性が、無植栽面積と堆砂量との間には正の相関性が確認され、植生の有無によって堆砂量、すなわち土砂生産量が変化することが明らかになった。 得られたデータを元に、植栽の有無による斜面安定性変動予測モデルを構築し、これを用いて土砂生産可能面積指標を定義して土砂生産予測式を誘導して宮川ダム上流域に対して適用したところ高い再現精度を有することが確認されたが本モデルでは表層崩壊に起因すると考えられる堆砂量の突発的な増加傾向は再現できなかった。 	<p>図-8</p>
<p>発表年：2002／著者：平松晋也／掲載誌：砂防学会誌：新砂防 = 55(4), 3-11, 2002-11-15／タイトル：森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響</p>		
<p>④ (59)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 宮川ダム流域を対象に過去 30 年間程度の空中写真を用いた森林伐採後の植栽の有・無と表層崩壊との関係解析を行った。 森林伐採後の植栽の有・無によって流域内の崩壊発生状況が異なり、植栽面積と崩壊面積の間には負の、無植栽面積と崩壊面積の間には正の相関関係が成立する。 伐採直後より崩壊斜面が出現し、伐採後 5～7 年経過すると斜面の不安定化が最も顕著に認められ、崩壊が多発する。 宮川ダム上流域では、植栽(伐採)後 20 年以上経過すると崩壊の発生が沈静化するが、無植栽地では伐採後 24 年経過した時点でも崩壊の発生が顕著に認められた。 長沢ダム上流域では、植栽地・無植栽地内での崩壊発生状況の推移に顕著な差は認められず、伐採(植栽)後 10 年以上経過すると崩壊の出現頻度は急減する。 崩壊可能面積率指標：A_{Phr}(t)(%)を指標として崩壊発生状況の変化を概観したところ、A_{Phr}(t)と崩壊面積率との間には顕著な対応関係が認められた。 A_{Phr}(t)と年最大日雨量とを表層崩壊の説明変数とした「崩壊面積率予測式」を提示し、再現計算を実施したところ、良好な再現性が確認された。 	<p>図-11</p>
<p>発表年：2004／著者：黒岩知恵／掲載誌：砂防学会誌：新砂防 = 57(2), 16-26, 2004-07-15／タイトル：森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究</p>		
<p>⑤ (65)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ブナ林皆伐後の伐根の引抜強度の変化を測定するとともに、多雪山地における積雪移動量と斜面雪 	<p>図-6</p>

	<p>圧の観測を行い、伐根の転倒にともなう表層崩壊発生の可能性について検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> 伐根の引抜強度は根元直径が小さいほど、伐採からの年数が経過したものほど小さく、これら二つの変数によってほぼ説明された。 表層崩壊のきっかけとなる伐根の転倒は、伐採後9年以前に生ずるものと考えられた。 斜面積雪の安定性は植生条件や積雪深によって異なった。 斜面雪圧は冬期間の積雪移動量にほぼ対応し、積雪が安定な斜面では100~300kPa、やや不安定な斜面では8G [1kPa程度、不安定な斜面では2~5MPaであった。 伐根の引抜強度と斜面雪圧を比較したところ、多雪山地における伐根の転倒による表層崩壊発生の可能性が示唆された。 とくに、森林の伐採が高伐りによって行われた場合や、伐採された林分が小径木で構成されていた場合に、その可能性は大きくなるものと判断された。 	
	<p>発表年：1996／著者：相原秀春／掲載誌：日本林學會誌 78(2), 150-156, 1996-05-16／タイトル：多雪山地におけるブナ林皆伐後の伐根の転倒にともなう表層崩壊の発生</p>	
<p>⑥ (79)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 新設された治山ダムの上流に位置する40年生スギ人工林、30年生ヒノキ人工林、植生が侵入し始めた小規模斜面、崩壊直後の大規模斜面と小規模斜面において土砂移動量を調査した。 スギ人工林における土砂移動量を100とした場合、ヒノキ人工林は962、植生が発生していない小規模斜面は2736、植生が侵入し始めた小規模斜面は1841、崩壊直後の大規模斜面は7404、崩壊直後の小規模斜面は5854となった。 	<p>図4</p>
	<p>発表年：2013／著者：渡邊次郎他2名／掲載誌：福島県林業研究センター研究報告(46), 41-50, 2013-08／タイトル：森林構成と土砂流出防止効果</p>	
<p>⑦ (86)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 作業道が入っている荒廃ヒノキ人工林と作業道の無い荒廃ヒノキ人工林において、¹³⁷Csと²¹⁰Pbを用いて浮遊土砂の起源について検討した。 作業道がない流域では浮遊土砂のほとんどは林床起源であったが、作業道があるヒノキ人工林の渓流水では、作業道起源の浮遊土砂が多く含まれていた。 	
	<p>発表年：2007／著者：恩田裕一／掲載誌：土と基礎 55(8), 16-19, 2007-08-01／タイトル：森林の荒廃による表面流出の発生および細粒土砂の河川への流出(〈小特集〉水環境)</p>	

<p>⑧ (91)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・作業路では林内と比較して細土、礫、有機物の移動量がそれぞれ、7-20、5-35、1-10 倍多かった。 ・スギ枝条を作業路に散布したところ、細土、礫、有機物の移動量はそれぞれ、1/2～1/8、1/3～1/20、1/6 以下に減少した。 	<p>図-11</p>
<p>発表年：2004／著者：恩田裕一／掲載誌：日本地理学会発表要旨集 = (65), 116, 2004-03-27 / タイトル：人工林の荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響</p>		
<p>⑨ (305)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高知県四万十町の荒廃ヒノキ人工林流域に大小の流域を入れ子状に配置し、2005 年 9 月の台風イベントについて 180 と 137Cs を用いて生産土砂の起源を推定した。 ・137Cs で推定した浮遊砂に対する林床の寄与率は小流域では高く、大流域では作業道からの浸食土砂の流入により低くなった。 	
<p>発表年：2007／著者：水垣滋／掲載誌：地形 29.1 (2008)：79. (一般研究発表会 (口頭発表), 2007 年度秋季研究発表会). / タイトル：山地ヒノキ林流域における台風イベント時の水・土砂流出過程</p>		
<p>⑩ (402)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道岩見沢市郊外の 2ha 余りの約 40 年生トドマツ林で、斜面方向の集材路、25 年前の間伐列 (対照区)、2008 年の間伐列、皆伐跡地において、流出土砂量、林床状況、表土流出量に関わる要因解析を行った。 ・表土流出量は集材路が最大で、対照区ではほとんど表土流出は見られなかった。 ・皆伐跡地では対照区の 20 倍程度の表土流出があったが、その翌年には 3.5 倍と激減した。 ・集材路では輻由来の地表流が見られる箇所、2009 年に 2000g/m を超える土砂流入が観察された。 ・各処理区の林床植生は、伐採翌年の皆伐地では 50% 以上の場所が土が露出していたが、2 年目にはいずれも対照区と同程度の被度となった。 ・表土流出量と各因子との関係を解析した結果、林床被覆率の寄与が最も大きく、次いで積算降水量となり、土壌硬度の寄与はあまり大きくなかった。 ・林床被覆率と表土流出量の関係を見ると、50% 付近で 1000g/m を超える流出量も観測されているのに対して、60% 以上になると 300g/m 以下と急減しており、表土流出が起きやすい閾値の存在がうかがえた。 	<p>図-5</p>
<p>発表年：2011／著者：長坂有ほか 4 名／掲載誌：日本森林学会北海道支部論文集、59 号／タイトル：森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響</p>		

<p>⑪ (403)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・佐賀県神埼郡吉野ヶ里の花崗岩山地の再造林放棄地内の作業路、法面、伐採跡地での土砂移動について調査を行った。 ・作業路で土砂流亡が特に多かったのは、フォワーダーの轍跡であった。 ・植生有の作業路のほうが植生なしの作業路よりも土砂流亡は少なかった。 ・法面での土砂流亡は雨滴衝撃によると考えられた。 ・伐採跡地でも地表面の低下がみられた。 	<p>図-1</p>
<p>発表年：2009／著者：佐々木重行 ほか2名／九州森林研究 62／タイトル：再造林放棄地内の作業路，法面および伐採跡地での土砂移動について</p>		
<p>⑫ (404)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・鹿児島県宇検村の芦剣の皆伐地と赤土山の帯状伐採地で土砂移動量を計測した。 ・芦剣では伐採区より対照区において土砂移動量が多いが、赤土山では対照区よりも伐採区で土砂移動量が大きかった。 ・芦剣では伐採区においても植生回復が進んでいたが赤土山では下層植生の回復は十分ではなく、このため地域による植生回復の違いが土砂流出に現れたと考えられた。 	<p>図-6</p>
<p>発表年：2011／著者：岩智洋 ほか2名／掲載誌：九州森林研究 64／タイトル：鹿児島県奄美大島における森林伐採後の土砂移動量の観測</p>		

問 03-11	皆伐跡地への植栽の実施は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>問 3-10 と同様に、皆伐は一時的にでも根系機能を低下させるため、再造林が行われても、短期間、伐採前に比べると土砂災害リスクが増大する可能性がある（根拠①）。</p> <p>ただし、伐採後の植栽によって新たな根系が補強効果を得ることから、伐採後の植栽は長期的にみれば土砂災害防止機能や土壌保全機能を維持するうえで大きな効果がある（根拠②）。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (40)	<ul style="list-style-type: none"> 宮川ダムの堆砂状況の経年変化と、降雨量、流域内の森林施業の状態、崩壊面積との関係を解析した。 植栽面積と堆砂量の間には負の相関性が、無植栽面積と堆砂量の間には正の相関性が確認され、植生の有無によって堆砂量、すなわち土砂生産量が変化することが明らかになった。 得られたデータを元に、植栽の有無による斜面安定性変動予測モデルを構築し、これを用いて土砂生産可能面積指標を定義して土砂生産予測式を誘導して宮川ダム上流域に対して適用したところ高い再現精度を有することが確認されたが本モデルでは表層崩壊に起因すると考えられる堆砂量の突発的な増加傾向は再現できなかった。 <p>発表年：2002／著者：平松晋也／掲載誌：砂防学会誌：新砂防 = 55(4), 3-11, 2002-11-15／タイトル：森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響</p>	図-8
② (59)	<ul style="list-style-type: none"> 宮川ダム流域を対象に過去 30 年間程度の空中写真を用いた森林伐採後の植栽の有・無と表層崩壊との関係解析を行った。 森林伐採後の植栽の有・無によって流域内の崩壊発生状況が異なり、植栽面積と崩壊面積の間には負の、無植栽面積と崩壊面積の間には正の相関関係が成立する。 伐採直後より崩壊斜面が出現し、伐採後 5～7 年経過すると斜面の不安定化が最も顕著に認められ、崩壊が多発する。 宮川ダム上流域では、植栽(伐採)後 20 年以上経過すると崩壊の発生が沈静化するが、無植栽地では伐採後 24 年経過した時点でも崩壊の発生が顕著に認められた。 長沢ダム上流域では、植栽地・無植栽地内での崩壊発生状況の推移に顕著な差は認められず、伐採(植栽)後 10 年以上経過すると崩壊の出現頻度は急減する。 	図-11

	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊可能面積率指標: $A_{Phr}(t)(\%)$を指標として崩壊発生状況の変化を概観したところ, $A_{Phr}(t)$と崩壊面積率との間には顕著な対応関係が認められた。 ・$A_{Phr}(t)$と年最大日雨量とを表層崩壊の説明変数とした「崩壊面積率予測式」を提示し,再現計算を実施したところ, 良好な再現性が確認された。 	
<p>発表年：2004／著者：黒岩知恵／掲載誌：砂防学会誌：新砂防 = 57(2), 16-26, 2004-07-15／タイトル：森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究</p>		

問 03-12	人工林化は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>人工林が適正に管理されない場合のリスクは、間伐の影響で述べたように、土壌保全機能を大きく低下させると考えられるが、これは人工林の問題というよりも森林管理の問題と考える。</p> <p>また、間伐遅れのスギ林では土壌の酸性化が進行しうるということが指摘されている（根拠①）が、これも管理の問題であろう。</p> <p>人工林と広葉樹林を主とする天然林の土砂災害防止機能や土壌保全機能を直接比較して、その違いを信頼に足る結果として見出した研究は見られない。</p> <p>広葉樹林の根系の強度については近年知見が得られつつあるが（根拠②）、広葉樹とスギ・ヒノキなどとの成長速度の違いまでを踏まえて、同程度の樹齢で比較した研究は見られないため、樹種による差の比較まで議論できる段階にない。また、広葉樹林とスギ・ヒノキ林の浸透能について計測した研究はあるが、管理遅れの森林を除けば、人工林化による浸透能の変化が災害に結びついたことを示す研究は見られない。ただし、健全な人工林を維持するには適正な管理が必要であり、現状では作業道が不可欠となることから、十分な維持管理が行われない作業道が含まれる場合は、天然性の森林と比べると一定程度土砂流出のリスクが増大する可能性はある。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (138)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 島根県奥出雲町の 39 年生と 47 年生の間伐遅れのスギ人工林と、41 年生の定期的の間伐が行われたスギ人工林について、立木の形状比、相対幹距比、相対照度及び下層植生、土壌の pH、EC、CEC、塩基飽和度、化学的緩衝能力を計測し比較した。 ・ 間伐遅れのスギ人工林では、立木の形状比や相対的幹距比の値が適正な場合でも土壌環境が劣化していることが確認された。 ・ 未整備のまま放置すると土壌の酸性化が進行し、養分の流亡による森林の衰退や酸性雨に対する耐性の低下が懸念される。 <p>発表年：2008／著者：田中賢治／掲載誌：日本緑化工学会誌 34(1), 227-230, 2008-08-3／タイトル：スギ・ヒノキ人工林における土壌理化学性による森林健全度評価の試み</p>	図-4
② (324)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 常緑広葉樹を主とする 10 樹種（ウバメガシ、シラカシ、マテバシイ、クスノキ、ソヨゴ、モチノキ、マサキ、カクレミノ、シロモジ、ハゼノキ、クロマツ）を対象とし生根の引張強度を計測した。 ・ 一概に常緑広葉樹は引張強度が強いといえるものではなかったが、樹種によっては非常に大きい値を示した。 ・ ブナ科の樹種は回帰式を併合でき、生物学的分類が引張強度の指標になりうる可能性がある。 <p>発表年：2012／著者：若杉裕希他 2 名／掲載誌：中森研 No.60／タイトル：常緑広葉樹を主とする生根の引張強度試験</p>	図-13

問 03-13	複層林化は土砂災害防止／土壌保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>複層林化が土砂災害防止機能や土壌保全機能に与える影響を直接取り上げた研究は見られないが、間伐の影響について考察した研究から、複層林化の影響はある程度推定できる。</p> <p>間伐が様々な点で林地の土壌保全機能を向上させることが多くの研究で明らかにされており（根拠①、②、③、④）、このことから、複層林化は間伐の効果と同様に林床の環境を改善して土壌保全機能を向上することが期待できる。</p> <p>また、土砂災害防止機能においても世代交代による根系機能の低下を緩和することが期待できる（根拠⑤）。</p> <p>ただし、複層林を健全に維持するには作業道の継続的な利用が不可欠であり、作業道が適切に維持管理されない場合は作業道からの土砂流出の危険（根拠⑥、⑦、⑧、⑨）を伴うため、現実的な作業道の効果のデータを踏まえないと、小面積林分単位の管理とどちらが優れているかについては判断できない。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (25)	<ul style="list-style-type: none"> 急傾斜地のヒノキ人工林（和歌山県田辺市）において、土砂受け箱法によって処理前後4年間にわたる表土移動量を測定し、皆伐（100%）、強度間伐（50%）、通常間伐（20%）による表土移動量の影響を評価した。 細土、土砂、リターの各移動量は、間伐による変化量は皆伐区に比べて小さかった。 皆伐や強度間伐においては植生回復の増加による土砂移動量抑制効果が伐倒処理などの人為的な地表攪乱によって相殺された可能性が考えられた。 急傾斜ヒノキ人工林で森林管理を行う場合、作業時の地表攪乱を最小限にすることと、速やかな植生回復を促すことを調和させることが林地の土壌を保全するうえで重要であると考えられた。 <p>発表年：2012／著者：中森由美子／掲載誌：日本森林学会誌 94(3), 120-126, 2012／タイトル：急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土、土砂、リター移動量の変化</p>	図-1
② (42)	<ul style="list-style-type: none"> ヒノキ純林へのアカマツの混交と林床のササが土砂とリターの流亡防止に及ぼす影響を定量的に把握した。 ヒノキ純林にアカマツやササが侵入すると年間侵食土砂量は1/4～1/8、流亡リター量は1-1/2程度にまで減少した。また、A0層の一部を除去すると侵食土砂量と流亡リター量は大幅に増加した。 土砂とリターの移動は、斜面を流下する地表流よりも降雨因子、特に10分間最大降雨強度と降雨エネルギーに強く依存すると推察された。人工降雨実験から推定された侵食土砂量と落葉堆積量の指数 	Fig.18

	関数式から、ヒノキ・アカマツ混交林において許容限界侵食土砂量を維持するのに必要なリター堆積量は5-7ton/haであると推定した。	
	発表年：1992／著者：服部重昭／掲載誌：森林総合研究所研究報告（362），p1-34，1992-01／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響	
③ (43)	<ul style="list-style-type: none"> 石川県内の加賀地域と能登地域のスギ、ヒノキ、アテ人工林において下層植生の被度の異なる地点で土壌流出量を測定した。 いずれの地点でも被度が疎の場合、被度が中や密に比べて土壌流出量が多かった。 	図-1
	発表年：2008／著者：小倉晃／掲載誌：石川県林業試験場研究報告（40），27-28，2008-04／タイトル：林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量	
④ (72)	<ul style="list-style-type: none"> 管理放棄された針葉樹林流域（1.29ha）と天然生広葉樹林流域（1.28ha）の短期流出特性を定量的に比較した。 針葉樹林流域ではピーク流出水量と直接流出量が非常に大きく、広葉樹林流域の約1.4-3倍であった。 管理放棄されたヒノキ人工林では、降雨に対する地表流の流出応答が非常に大きく、広葉樹林の約2.4倍の地表流が流出していた。 ヒノキ林の斜面末端部では地表流の約4.0-4.7倍に相当する選択的な表層流（バイオマットフロー）が細根の密集する土壌表層部を流下していた。 ヒノキ林斜面と広葉樹林斜面では土壌表層部の地中水の挙動に大きな違いがみられ、広葉樹林では雨水がすみやかに深部浸透したのに対し、ヒノキ林では土壌深部への浸透が遅れる傾向がみられた。 土壌表層部における水流発生機構や地中水の挙動は流域の短期流出特性と密接に関連しており、管理放棄された針葉樹林流域では、地表流や選択的な表層流が速い流出成分として、流出ピークに大きく寄与している可能性が示された。 	Fig.13
	発表年：2008／著者：平野智章／掲載誌：地形 29（3），255-280，2008-07-25／タイトル：管理放棄されたヒノキ人工林及び天然生落ち葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構	
⑤ (40)	<ul style="list-style-type: none"> 宮川ダムの堆砂状況の経年変化と、降雨量、流域内の森林施業の状態、崩壊面積との関係を解析した。 植栽面積と堆砂量との間には負の相関性が、無植栽面積と堆砂量との間には正の相関性が確認され、植生の有無によって堆砂量、すなわち土砂生産量が変化することが明らかになった。 得られたデータを元に、植栽の有無による斜面安 	図-8

	<p>定性変動予測モデルを構築し、これを用いて土砂生産可能面積指標を定義して土砂生産予測式を誘導して宮川ダム上流域に対して適用したところ高い再現精度を有することが確認されたが本モデルでは表層崩壊に起因すると考えられる堆砂量の突発的な増加傾向は再現できなかった。</p>	
	<p>発表年：2002／著者：平松晋也／掲載誌：砂防学会誌：新砂防 = 55(4), 3-11, 2002-11-15／タイトル：森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響</p>	
⑥ (86)	<ul style="list-style-type: none"> 作業道が入っている荒廃ヒノキ人工林と作業道の無い荒廃ヒノキ人工林において、137Csと210Pbを用いて浮遊土砂の起源について検討した。 作業道がない流域では浮遊土砂のほとんどは林床起源であったが、作業道があるヒノキ人工林の渓流水では、作業道起源の浮遊土砂が多く含まれていた。 	
	<p>発表年：2007／著者：恩田裕一／掲載誌：土と基礎 55(8), 16-19, 2007-08-01／タイトル：森林の荒廃による表面流出の発生および細粒土砂の河川への流出(小特集)水環境)</p>	
⑦ (91)	<ul style="list-style-type: none"> 作業路では林内と比較して細土、礫、有機物の移動量がそれぞれ、7-20、5-35、1-10倍多かった。 スギ枝条を作業路に散布したところ、細土、礫、有機物の移動量はそれぞれ、1/2～1/8、1/3～1/20、1/6以下に減少した。 	図-11
	<p>発表年：2004／著者：恩田裕一／掲載誌：日本地理学会発表要旨集 = (65), 116, 2004-03-27 / タイトル：人工林の荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響</p>	
⑧ (305)	<ul style="list-style-type: none"> 高知県四万十町の荒廃ヒノキ人工林流域に大小の流域を入れ子状に配置し、2005年9月の台風イベントについて180と137Csを用いて生産土砂の起源を推定した。 137Csで推定した浮遊砂に対する林床の寄与率は小流域では高く、大流域では作業道からの浸食土砂の流入により低くなった。 	
	<p>発表年：2007／著者：水垣滋／掲載誌：地形 29.1 (2008)：79. (一般研究発表会(口頭発表), 2007年度秋季研究発表会). / タイトル：山地ヒノキ林流域における台風イベント時の水・土砂流出過程</p>	
⑨ (402)	<ul style="list-style-type: none"> 北海道岩見沢市郊外の2ha余りの約40年生トドマツ林で、斜面方向の集材路、25年前の間伐列(対照区)、2008年の間伐列、皆伐跡地において、流出土砂量、林床状況、表土流出量に関わる要因解析を行った。 表土流出量は集材路が最大で、対照区ではほとんど表土流出は見られなかった。 皆伐跡地では対照区の20倍程度の表土流出があっ 	図-5

	<p>たが、その翌年には 3.5 倍と激減した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 集材路では轍由来の地表流が見られる箇所、2009 年に 2000g/m を超える土砂流入が観察された。 ・ 各処理区の林床植生は、伐採翌年の皆伐地では 50%以上の場所が土が露出していたが、2 年目にはいずれも対照区と同程度の被度となった。 ・ 表土流出量と各因子との関係を解析した結果、林床被覆率の寄与が最も大きく、次いで積算降水量となり、土壌硬度の寄与はあまり大きくなかった。 ・ 林床被覆率と表土流出量の関係を見ると、50%付近で 1000g/m を超える流出量も観測されているのに対して、60%以上になると 300g/m 以下と急減しており、表土流出が起きやすい閾値の存在がうかがえた。 	
<p>発表年：2011／著者：長坂有ほか 4 名／掲載誌：日本森林学会北海道支部論文集、59 号／タイトル：森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響</p>		

問 03-14	高齡級化は土砂災害防止／土壤保全機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>高齡級化が土砂災害防止機能や土壤保全機能に与える影響を直接検証した研究はない。ただし、これまでの他のテーマに関する研究から、その効果のある程度推定することはできる。</p> <p>これまでの多くの研究で、幼齡林での崩壊リスクが壯齡林に比べて高いことが明らかになっていることを踏まえれば、伐採サイクルの長期化によって、土砂災害防止機能が向上する可能性は高い。また、林床植生が乏しい手入れ不足の人工林が、通常若齡林に多いことを踏まえれば、健全な状態で高齡級化が図られれば、十分な下層植生が維持されるため、土壤保全機能においても大きな問題が出ることは考えにくい。</p> <p>また、通常、高齡級化によって林内に立ち入る頻度は低下すると考えると、森林作業道の作設による土砂流出のリスクも低減できると期待される。ただし、上記のような高齡級化の利点がすべての森林によって実現できるのかは、造林技術的な立場から検討される必要がある。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
—	—	

問 06-00	土砂災害防止機能が高度に発揮される森林とはどのようなものか
答	<p>森林の土砂災害防止機能は、樹木根系による表層崩壊発生防止機能（根拠①～⑩）と、立木による崩壊土砂の流出抑制機能（根拠⑮，⑯）からなる。</p> <p>樹木根系による表層崩壊発生防止機能は地上部とリンクした地下部根系の発達程度の影響を強く受けるため、蓄積（材積）の少ない森林より大きい森林（根拠①，⑥），若齢林より壮齢林（根拠①，③，④）の方が表層崩壊発生防止機能を高度に発揮することが従来から指摘されている。</p> <p>崩壊土砂の流出抑制機能については、表層崩壊発生防止機能と関連するが、地下部根系が発達しており地上部の立木サイズが大きいものほど引き倒し抵抗モーメントが大きく流出抑制機能を高度に発揮する（根拠⑫，⑬）。従って土砂災害防止機能を高度に発揮する森林とは、地下部根系が良好に発達しかつ立木サイズ、蓄積が大きい森林である。</p> <p>人工林あるいは低山地等の人為の影響を受けやすい場所にある森林では、森林状態の違いによって、土砂災害防止機能（特に表層崩壊発生防止機能）は大きく変化するため、森林管理手法が重要な要素となる（根拠⑤，⑦，⑧）。樹木根系による表層崩壊発生防止機能は土質力学的には土の粘着力増分ΔC（土質強度補強効果）として発現し、その効果は根系の引き抜き抵抗力によって指標化されることが北村・難波（1981）によって明らかにされている（根拠④）。これ以降、根系による防止機能のメカニズムの面から森林状態の違いが表層崩壊防止効果に与える影響を定量的に評価するための研究が、数多く実施されてきている。中でも塚本（1987）はスギ根系を水平根と鉛直根によってモデル化し、2次元断面のモデル斜面による斜面安定解析を実施した結果、水平根に比較して鉛直根の効果は3倍程度となることを指摘している（根拠⑤）。このことは、根系の防止機能把握のためには、水平根の影響も含め考慮する事の重要性を示唆している。</p> <p>この点について、北原（2010）は、系統だった調査研究を長年にわたって実施し、以下の主要な結論を提示している。結論1：表層崩壊発生防止機能は主として水平根によって発揮されている、結論2：水平根による防止機能には樹種間で明瞭な差がある、結論3：立木密度が高いほど、細根本数が増加するが断面積合計は減少し防止機能は低下する、結論4：適期の間伐は無間伐林分と比較して太い根系を多くし防止機能を高める（根拠⑧）。以上の4点である。田中ら（2014）は崩壊が発生した箇所の森林と非発生を比較した結果、収量比数（立木の混み具合）の差が有意にみられたこと（根拠⑭），藤堂ら（2015）は間伐と無間伐のスギ人工林において立木の引き倒し抵抗モーメントの実測結果を比較した結果、間伐林分のほうが大きい抵抗力を示したことを報告しており（根拠⑬），これらは北原（2010）が提示した結論を支持するものである。また近年では実際の森林管理の現場に北原の研究成果が導入されてきている（根拠⑪，⑫）。ただし結論1について塚本（1987）は鉛直根の伸長によるすべり面押し下げ効果が崩壊発生周期の増大につながることを指摘しており（根拠⑤），結論4については間伐遅れの森林が林齢の違いほどには明瞭に崩壊を多発させた事例は示されていないこと、藤堂ら（2015）が指摘しているように、樹種によっては間伐の効果不支持しない研究例もあることから（根拠⑬），今後より詳細に検討する上では地上部と地下部の土層鉛直構造及び樹種の違いによる生長特性の違いについて検討することも必要であろう。</p>

根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5434)	<ul style="list-style-type: none"> ・1958年狩野川台風によって伊豆半島における調査を実施。推計値として伊豆半島全体で約4000箇所、500haの山地崩壊が発生。 ・幼令林地・灌木地・草地の崩壊が多く、蓄積の多い美林では崩壊が少ない。 ・森林は年齢級の増加とともに山地崩壊防止機能が増大。 	本文 p.116
発表年：1959／著者：川口武雄・難波宣士・滝口喜代志・河野良治・岸岡孝／掲載誌：林業試験場研究報告 117号, p.83-120 (1959)／タイトル：昭和33年伊豆水害の山地の崩壊，土石流出とその防止対策		
② (5422)	<ul style="list-style-type: none"> ・同径級の11樹種（針葉樹6種，広葉樹5種）の抜根調査を実施。 ・根元直径が大きいほど高い抜根抵抗力を示す。深い根と射出根の分岐が多く，伐採後において腐朽しにくい樹種（クヌギ，ミズナラ）の崩壊防止効果が高い。 	p.68-71
発表年：1975／著者：村井宏・岩崎勇作／掲載誌：林業試験場研究報告 274号, p.23-84 (1975)／タイトル：林地の水および土壌保全機能に関する研究（第1報）		
③ (106)	<ul style="list-style-type: none"> ・福岡県内三郡山地の国有林約1900haを対象に，崩壊発生に関係する地形，植生因子を取り上げて数量化Ⅱ類による判別解析を行ったもの。 ・植生因子が地形等の因子と比較して判別に大きく寄与している。 ・植生因子の中では，針葉樹林，広葉樹林ともに林齢20年以下では崩壊発生危険度が大きく，21年以上では小さい。 	図-1
発表年：1977／著者：志水俊夫／掲載誌：日本林学会誌 59(5), p.186-190 (1977)／タイトル：花崗岩地帯の斜面の安定性に関する統計的解析		
④ (5426)	<ul style="list-style-type: none"> ・抜根抵抗力が崩壊防止機能の指標値となる。 ・スギ，クロマツ，カラマツ，ブナ，その他広葉樹において抜根試験を実施。根株から引き抜いているため，水平根，垂直根を含めた評価を実施。 ・引き抜き抵抗力は，根元直径，林齢とともに増大。伐採根株では伐採後の経過年数とともに指数関数的に急激に減少。 ・林齢50年前後までは樹種間の差は顕著ではない。ただし伐採後の経過年数による減少割合には樹種間に差が認められ，クロマツ，一般広葉樹，スギ，ブナ，カラマツの順に早く遞減する。 ・根量によって抵抗力は規定され，これと密接に関連する材積の関係から崩壊防止機能を評価する方法が実態に即している。 	図7から17

	発表年：1981／著者：北村嘉一・難波宣士／掲載誌：林業試験場研究報告 181号, p.175-208 (1981)／タイトル：抜根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能	
⑤ (62)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林と崩壊の関係の既往研究を詳細に再解析し、人の手が加わりやすい、標高 900m 以下では地被要因による影響が大きい。 ・森林の効果は樹木がまったくない状態と比較して、最低でも安全率を 4 倍程度増加させる効果がある。 ・樹木根系による崩壊抑止効果は、水平根の引き抜き抵抗力によるもの、鉛直根によるすべり面の押し下げ効果および風化基岩に伸長した根の効果、に分類される。 ・崩壊長さ 60m, 幅 30m, 崩壊深さ 0.7m の表層崩壊、傾斜 45 度のモデル斜面による 2 次元断面によるシミュレーションの結果から、水平根に比較して鉛直根の効果は 3 倍程度となる。 	全文に記載
	発表年：1987／著者：塚本良則／掲載誌：東京農工大学農学部演習林報告 No. 23, p.65-124 (1987)／タイトル：樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究	
⑥ (5471)	<ul style="list-style-type: none"> ・山崩れ（表層崩壊）には林齢の影響が大きく 20 年生以下の幼齢林では壮齢林の 2 倍以上の崩壊数、面積を示す。齢級の増加とともに崩壊量は減少し、老齢林で再び増加する。 ・100～150m³/ha 以上の材積の森林は崩壊が少ない。 	本文 p.106
	発表年：1998／著者：川口武雄／掲載誌：水利科学 239号, p.75-107 (1998)／タイトル：森林の土保全機能を再考する	
⑦ (5472)	<ul style="list-style-type: none"> ・樹木の根による土質強度補強効果は数 kPa に達し、極めて高い。 ・スギ林を対象に伐採後の経過年数の異なる根の引き抜き試験を実施した事例から引き抜き抵抗力（単位 kgf）は伐採後 20 年で消失する。 ・秋田スギを対象に伐期の違いによる斜面安定性を評価した結果、長伐期施業が崩壊防止機能の面からは有利であることを指摘。 	図-11, 図-12 表-3
	発表年：2005／著者：阿部和時／掲載誌：日本緑化工学会誌 31(3), p.330-337 (2005)／タイトル：森林のもつ斜面崩壊防止機能	
⑧ (136)	<ul style="list-style-type: none"> ・膨大かつ詳細な調査結果をもとに崩壊防止機能は水平根の引き抜き抵抗力によって示されることを明らかにしている。 ①引き抜き抵抗力の地形、地質、土質による差はない。 ②樹種による差は明確に存在する。スギ、ヒノキと広葉樹のケヤキとナラ類は強く、アカマツとカラマツはやや弱い。 ③引き抜き抵抗力は根系の断面直径のおよそ 1.5 乗に比例する。 ・根系分布の調査結果からは以下の点を指摘。 	全文に記載

	<ul style="list-style-type: none"> ①根系本数は立木間の位置にかかわらず平方mあたり 50±20 本で変わらない。 ②根系の断面積合計は立木間中央が最小となる。 ③立木密度が高いと細い根のみとなり、本数は変化しないものの、断面積合計は減少する。 ・ヒノキ林を対象とした間伐の影響調査からは <ul style="list-style-type: none"> ①間伐後 5 年間は崩壊防止機能は低下するが、それ以降は崩壊防止機能は増大するのに対して、無間伐の場合は崩壊防止機能は頭打ちとなる。 ・適期の間伐は太い根系を多くし崩壊防止機能を高める。 ・林齢が増加すると崩壊防止機能は高まるが適期の間伐をしないと頭打となる。 ・土の粘着力が殆ど 0 の花崗岩マサ地帯では根系は特におおきな崩壊防止機能を果たしているため皆伐は避ける。 	
<p>発表年：2010／著者：北原曜／掲載誌：水利科学 311 号, p.11-37 (2010) ／タイトル：森林根系の崩壊防止機能</p>		
<p>⑨ (5473)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3つの豪雨災害（平成 21 年 7 月 21 日山口災害，平成 7 年 7 月 11 日 12 日北信越災害，昭和 36 年 6 月伊那谷災害）において発生した斜面崩壊と森林の関係を数量化 I 類を用いて解析 ・ 草地などの非森林地や植栽直後の幼齢林の崩壊面積率は，壮齢・老齢の森林地の 1.2 倍から 7.6 倍になる。 ・ 針葉樹最若齢層（植栽直後）に対する崩壊面積率の比を既往研究の結果と併せて検討した結果，針人工林（針葉樹）／天然林（広葉樹）の違いは特に明瞭ではないことを指摘。 ・ 樹齢・樹高，樹木密度の違いが崩壊面積率に与える影響は明瞭には見られない。 	<p>本文 3.3 節 森林の状況と崩壊面積率, p.30-32 図-7</p>
<p>発表年：2011／著者：小山内信智，桂真也，富田陽子，小川紀一郎，中田慎／掲載誌：砂防学会誌 Vol. 63(5), p.22-32 (2011)／タイトル：森林の崩壊抑制効果を反映した生産土砂量の推定に向けた一考察－豪雨災害時の崩壊面積率の解析－</p>		
<p>⑩ (116)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 林齢の増加による伴う水平根の抵抗力の発揮は林齢に応じた密度管理が前提である。 	<p>図-10</p>
<p>発表年：2013／著者：木下篤彦・坂井佑介・大野亮一・田畑三郎・川島正照・山崎孝成／掲載誌：砂防学会誌 Vol. 65(5), p.11-20 (2013)／タイトル：スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討</p>		
<p>⑪ (5474)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木根系の水平根による土質強度補強効果に着目し，胸高直径と立木中心からの距離の 2 変数によって土質強度補強効果の定量的評価を実施 ・ 密度管理曲線を用いて間伐効果による崩壊防止機能の経年的な変化シミュレーションを実施 	<p>本文 p7 中の式， 図-9 から 16</p>

	発表年：2014／著者：阿辻雅言／掲載誌：長野県林業総合センター技術情報(2014), p.6-11／タイトル：崩壊に強い森林とは	
⑫ (5475)	<ul style="list-style-type: none"> ・兵庫県における災害緩衝林（土砂補足効果）としての森林整備方針について紹介 ・引き倒し試験の結果から立木サイズの大型化が有効であることを指摘 ・樹種間の違いとしては、ケヤキが最大であり同一サイズ（胸高直径）でスギの4倍程度の抵抗力をもつ。 ・スギ人工林を対象とした場合の整備フローを提示。 	図-8
	発表年：2014／著者：藤堂千景・杉山和史・角直道・山瀬敬太郎／掲載誌：砂防学会誌 Vol. 67(2), p.36-41 (2014)／タイトル：「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について	
⑬ (5476)	<ul style="list-style-type: none"> ・間伐後17年が経過した49年生のスギ人工林と無間伐林の両者の引き倒し抵抗モーメントを比較。引き倒し抵抗モーメントは材積（胸高直径の2乗×樹高）と比例関係にあり、間伐によって抵抗モーメントが増大する。 ・間伐によって根の生長が促進され抵抗モーメントの増大につながることを示唆。 ・ただし間伐の効果を支持しない研究事例もあることから、今後は地上部と地下部の生長特性の樹種間差について検討することの必要性を指摘。 	図-3
	発表年：2015／著者：藤堂千景・山瀬敬太郎・谷川東子・大橋瑞江・池野英利・壇浦正子・平野恭弘／掲載誌：日本緑化工学会誌 41(2), p.308-314 (2015)／タイトル：間伐がスギの最大引き倒し抵抗モーメントにもたらす影響	
⑭ (5477)	<ul style="list-style-type: none"> ・全国の山地災害が発生した258箇所の崩壊発生域（崩壊源頭部から崩壊地内の30度から40度の範囲）の微地形特徴を調査 ・全体の28%が上部谷壁凹斜面で発生、平均規模は幅13.2m、水平方向の崩壊長8.7m ・全国15地点（30箇所）の豪雨災害が起こった箇所の森林状況の収量比数を調査した結果、崩壊地：0.79±0.12、非崩壊地0.72±0.12であり、検定の結果有意な差が確認された。（密度管理が重要であることを指摘） 	図-3,図-6 図-8
	発表年：2015／著者：田中淳・見市貴司・世古口竜一・對馬美紗・竹村文・田村洋子・森千夏・田中賢治・大野亮一／掲載誌：日本緑化工学会誌 41(2), p.326-330 (2015)／タイトル：土砂流出災害における崩壊地の微地形の特徴と森林の関係	

問 07-00	土壌保全機能が高度に発揮される森林とはどのようなものか	
答	<p>森林の土壌保全機能は、リター（落葉）及び下層植生による土壌被覆効果（根拠①）、樹木の水平根によるリル・ガリー侵食抑制効果（根拠⑥）の両者によって発揮される。したがって土壌保全機能が高度に発揮される森林とは、リター、下層植生が豊富な森林、樹木水平根が発達した森林である。</p> <p>落葉による土壌被覆効果の主たる要因が、要因1：林内雨の土壌への雨滴エネルギーの減殺、要因2：地表水流下エネルギーの減少、要因3：土壌の凍結融解防止、の3要因であることは川口・滝口（1957）によって明らかにされている。この研究の中で、雨滴侵食による土砂流出量が侵食量の7割以上を占め、落葉による林内雨滴エネルギーの減殺が土壌保全機能を発揮する上での第一主要因であること、樹種の違いによらず落葉被覆度が90%以上の斜面では雨滴侵食が殆ど発生しないことを、野外及び室内での4年間の詳細な観測及び実験によって明らかにしている。（根拠①）。林内雨滴エネルギーについては、塚本（1976）が樹冠高（生枝下高）5m以上になると林外雨滴エネルギーより増大することを明らかにしており（根拠番号③）、上層の状態よりもリター（落葉）及び下層植生の状態が土壌保全機能と密接に関係していることは明らかである。その後の研究いずれもが川口・滝口（1957）の先駆的な研究成果を支持している（根拠②、④、⑤、⑦～⑨、⑪）。</p> <p>川口・滝口（1957）の研究はリターに着目したものであり、ヒノキ林は対象としていないが、ヒノキを含む人工林の管理面ではリター（落葉）及び下層植生の状態をあわせて定量的に把握することが極めて重要となる。三浦（2000）はこの点について、林床植生と堆積リターの両者を統合した林床被覆率を定義し、林床被覆率を支配する主要因子は、ヒノキ以外の森林では堆積リターであること、ヒノキ人工林では下層植生であり、樹冠が閉鎖し下層植生が殆ど存在しないヒノキ林では他の林分と比較して土壌保全機能が著しく低下することを指摘している（根拠⑦）。土壌保全機能が著しく低下したヒノキ林斜面では表面流による表面侵食が発生するが、その場合においてもヒノキ水平根によってリル・ガリーの発達が抑制されることを塚本（1998）は指摘している（根拠⑥）。いずれにしても森林は他の地被と比べて高い土壌保全機能を有しているが、ヒノキ人工林の場合においては土壌保全機能を高度に発揮しつつける上で、間伐による光環境の維持が特に重要な要因となる点に留意すべきである（根拠⑦、⑪）。</p> <p>なお南光（2013）はヒノキ林の既往研究結果を再解析した結果、上層の樹冠長の増大によって林内雨滴エネルギーが逡減することを指摘しており（根拠⑩）、今後のヒノキ林施業を考える上では間伐以外に検討すべき要素である可能性がある。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5478)	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ 40cm, 幅 20cm, 深さ 15cm の実験箱を用いて野外, 人工降雨降雨装置による室内実験を実施。 ・室内, 野外とも降雨による雨滴侵食量が 7 割以上, 地表流に起因する土砂流出量が約 2 割程度を示す。 ・野外実験では年流出土砂量の半分以上が冬季に生じ 	本文 p.118

	<p>ている（土壌の凍結融解作用）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・落葉による効果は、雨滴侵食防止、地表水流下エネルギーの減少、冬季の凍結・融解防止効果があり最も有効に働く。落葉被覆度 90%では雨滴侵食は殆ど発生しない。 ・針葉樹,広葉樹の違いは顕著には確認されない。 	
	<p>発表年：1957／著者：川口武雄・滝口喜代志／掲載誌：林業試験場研究報告 95号, p.91-118 (1957)／タイトル：地被物の侵食防止機能に関する実験</p>	
② (5422)	<ul style="list-style-type: none"> ・落葉による被覆量の違いが流出土砂量に及ぼす影響を調べるために、人工降雨装置と小型ライシメーター（幅 0.5m, 長さ 1.5m, 深さ 0.5m）による実験を実施。 ・樹種別には顕著な差はないが、被覆量の違いは大きく、0.2～0.4kg/m² 程度あれば土砂流出防止効果は顕著。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ p.37-43 ・ 表 28, 図-22
	<p>発表年：1975／著者：村井宏・岩崎勇作／掲載誌：林業試験場研究報告 274号, p.23-84 (1975)／タイトル：林地の水および土壌保全機能に関する研究（第1報）</p>	
③ (5444)	<ul style="list-style-type: none"> ・林内雨の雨滴の大きさは林外雨量強度に関わらず大きくなる。 ・樹冠高（生枝下高）5m を超えたあたりから、林内雨の運動エネルギーは林外雨よりも大きくなる。 	<p>図-2, 4</p>
	<p>発表年：1976／著者：塚本良則／掲載誌：森林立地 17(2), p.5-9 (1976)／タイトル：森林樹冠と雨滴侵食</p>	
④ (5479)	<ul style="list-style-type: none"> ・裸地、山腹植栽、森林化と変化するにつれて土砂生産量(侵食量) は裸地の 1/1000 程度にまで変化する。 ・裸地では冬季の土壌の凍結・融解作用により毎年ほぼ一定の土砂生産が生じる。 	<p>第2図, 第5図</p>
	<p>発表年：1989／著者：鈴木雅一・福嶋義宏／掲載誌：水利科学 190号, p.89-100 (1989)／タイトル：風化花崗岩山地における裸地と森林の土砂生産量</p>	
⑤ (5471)	<ul style="list-style-type: none"> ・表面侵食防止には、森林の上層部分よりも落葉落枝・草地などの林床地比物が雨滴侵食防止の観点から特に重要である。 	<p>本文 p.106</p>
	<p>発表年：1998／著者：川口武雄／掲載誌：水利科学 239号, p.75-107 (1998)／タイトル：森林の土保全機能を再考する</p>	
⑥ (5480)	<ul style="list-style-type: none"> ・水平根がリル・ガリーの発達を抑制していることを指摘 ・林床植生が殆ど存在しない過密林分のヒノキ林においても水平根のリル・ガリー発達抑制効果は存在する。 	<p>写真 6-1 : p.83 写真 6-2 : p.86</p>
	<p>発表年：1998／著者：塚本良則／掲載誌：森林・水・土の保全 湿潤変動帯の水文地形学 pp. 138, 朝倉書店 (1998)／タイトル：6. 森林と表土保全</p>	

<p>⑦ (31)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・林床植生と堆積リターの両者による林床被覆率を定義。 ・ヒノキ以外の樹種（スギ，アカマツ，落葉広葉樹）の被覆率は林齢によらず 90%以上で常に高い。 ・ヒノキは 40 年生前後の壮齢期までは被覆率は低い状態。 ・林床被覆率を支配する因子は，ヒノキでは林床植生であり，それ以外では堆積リターである。 	<p>図-5</p>
<p>発表年：2000／著者：三浦覚／掲載誌：日林誌 82(2), p.132-140 (2000)／タイトル：表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価</p>		
<p>⑧ (38)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・植生による表面侵食防止機能を，①植生地上部や落葉層による雨滴エネルギー減殺機能，②茎や落葉層による地表流の流速減殺機能，③土壌の浸透能改善による地表流量減少機能，④地表流の掃流力に対する根系の土壌緊縛機能，⑤凍上融解侵食に対する落葉層による保温機能があることを既往研究もとに解説。 ・流速減殺機能について，現地水理実験の結果から地被量（単位面積あたりの落葉層量の絶乾重）が増加するにつれてマンシングの粗度係数が大きくなることを示し，裸地に比較して森林は流速を 1/30 に抑えることを指摘。 	<p>本文第 3 章：植生による表面侵食防止機能，p.94-95 図-2</p>
<p>発表年：2002／著者：北原 曜／掲載誌：砂防学会誌 Vol.54(5), p.92-101 (2002)／タイトル：植生の表面侵食防止機能</p>		
<p>⑨ (5481)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全国を対象に調査された結果を解説 ・地表から 2m 程度までの下層植生の現存量と地表面侵食量の関係において，下層植生の多い林分では地表面侵食量が少ない。 ・下草植生の現存量に対応して表面侵食量には一定の上限値が存在する傾向にある。 	<p>図-3</p>
<p>発表年：2005／著者：荒木誠・阿部和時／掲載誌：森林科学 44, p.26-31 (2005)／タイトル：間伐は森林の土壌を守るか</p>		
<p>⑩ (75)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・国内のヒノキ人工林で雨滴を計測した研究事例を再解析したもの。 ・樹冠長と林内雨の運動エネルギー（雨滴が終端速度を有すると仮定して正規化）負の相関関係にあることを指摘 	<p>図-2</p>
<p>発表年：2013／著者：南光一樹／掲載誌：日林誌 95, 234-239 (2013)／タイトル：ヒノキ人工林における林内雨の運動エネルギーと樹高・生枝下高・樹冠長の関係</p>		

<p>⑪ (5456)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・同一斜面に存在する 40 年生の人工林を対象に土砂受箱による表土移動観測を実施。 ・ヒノキ林は他の樹種と比較して被覆率は年間を通じて常に低く，高い移動レートを示す。 ・ヒノキ林では堆積リターによる被覆効果は殆どないことから，下層植生維持のための光環境の改善が重要 	<p>図-3,図-4</p>
<p>発表年：2016／著者：渡邊仁志・井川原弘一・茂木靖和・横井秀一・平井敬三／掲載誌：日林誌 98, p.193-198 (2016)／タイトル：植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ，スギ，アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響</p>		

問 08-1	地種（裸・草・森）の違いは表面侵食防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>裸地では表面侵食が生じやすく、草地および健全な森林では表面侵食が抑制される。表面侵食防止には、下層植生の存在が特に重要である。以下、理由を述べる。</p> <p>表面侵食は気象・地形（斜面地形、傾斜角、斜面長）・地質（土質）・植生など様々な要因により生じる現象である。地種（植生）が侵食に与える影響は大きい、植生以外の要因も大きく、それらは複合的に影響する。日本で生じる表面侵食のうち気象要因として、主に降雨と凍上融解がある（根拠①、根拠②）。降雨による侵食は、雨滴が地表面に衝突し、土粒子を剥離・飛散する雨滴侵食（根拠③、根拠④）と、地表流が掃流力により表土を運搬する表面流侵食とが相互作用して生じる。凍上融解による侵食は、夜間の凍結と日中の融解を繰り返しつつ、表土が斜面下方へと移動する（根拠⑤）。凍上融解による土壌の移動距離は小さいが、表土が不安定となり降雨で侵食が生じやすくなる（根拠②）。</p> <p>裸地では降雨が直接土壌表面に当たり、雨滴侵食が生じる。また雨滴が土壌構造を破壊し土壌表面を目詰まりさせると浸透能が低下するため（根拠⑥、根拠⑦）、表面流が発生し表面侵食が生じる。裸地では冬季、昼夜の温度変化が激しいため、凍上融解が起こりやすく侵食を促進させる（根拠②）。以上より裸地では表面侵食が生じやすい。</p> <p>草地では植生の地上部や落葉層が雨滴の衝撃を緩和し表面侵食を抑制する（根拠⑧）。また植生によって土壌が発達し浸透能が向上し、地表流の発生を抑える。地下部の根は土壌を緊縛し、移動土砂を抑制し、表面流の抵抗体として作用する（根拠⑨）。</p> <p>更に落葉層が地表面を保温するため、凍上融解による侵食が抑制される（根拠⑤）。以上より、草地では表面侵食が抑制される。</p> <p>森林の樹冠は、林外に比較して大粒の雨滴をつくる。大粒の雨滴は、樹幹が高い場合は侵食増加の方向に、低い場合は減少の方向に作用する（根拠⑩）。樹冠から供給される落葉・落枝は雨滴の衝撃力を緩和する（根拠⑧、根拠⑪）。更に落葉層は地表面を保温し、凍上融解による侵食を抑制する。林床面に生育する下層植生も雨滴の衝撃力を緩和し、表面侵食を抑制する（根拠①）。樹木の根は土壌を緊縛し、移動土砂を抑制し、地表流の抵抗体として作用する。</p> <p>以上より、地表面が植生や落葉・落枝に覆われた森林では表面侵食は防止されるが、管理施行が不十分で樹冠が鬱閉し下層植生が失われたヒノキ林（根拠⑫）や、シカなどの採食圧により地表面が露出した森林（根拠⑬）では裸地同様の著しい表面侵食が生じるケースがある。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5436)	<ul style="list-style-type: none"> ・本州中部以北では降雨による侵食が凍上融解による侵食を上回ることもある。 ・図-1 は北海道（札幌）での侵食要因で、凍上融解 	全文、特に図 1

	による土壌侵食が降雨による土壌侵食を卓越している。	
	発表年：2002／著者：北原曜／掲載誌：砂防学会誌 54(9), 91-101／タイトル：植生の表面侵食防止機能	
② (5437)	<ul style="list-style-type: none"> 崩壊地（裸地）での侵食は降雨と凍上融解により生産された。 ヒノキ人工林での総侵食土砂量は、崩壊地（裸地）と比べ4桁小さかった。 ヒノキ林では侵食土砂量に季節変化は見られなかったが、侵食土砂量と降雨指標の関係は優意であった。 	図-3
	発表年：2004／著者：小林由佳、北原曜、小野裕／掲載誌：日本森林学会誌 86(4) 365-371／タイトル：風化花崗岩地帯における崩壊地の表面侵食とUSLEによるその解析	
③ (5438)	<ul style="list-style-type: none"> 土壌表面に落下した雨滴は、土壌の水分状態に応じて穿孔径と穿孔深、飛沫の飛散距離が変化する。 	p23-24
	発表年：1951／著者：三原義秋／掲載誌：農業技術研究所報告 A 物理統計 (1), 1-58／タイトル：雨滴と土壌侵食	
④ (5439)	<ul style="list-style-type: none"> 雨水流に雨滴が衝突する際に形成される水中ドーム（半球状の空気球）が土粒子剥離に関与する。 土壌面が湛水し、かつ斜面下方に速度成分を持つことで剥離した土粒子は移動しやすくなる。 	全文
	発表年：1989／著者：深田三夫、藤原輝男／掲載誌：農業土木学会論文集 1989(143), 21-29,a1／タイトル：湛水土壌面における雨滴作用の写真解析-雨滴侵食の基礎的研究(I)	
⑤ (5440)	<ul style="list-style-type: none"> 凍上融解侵食は、夜間に霜柱や土壌凍結で持ち上げられた土砂が、日中、気温や日射により融解し斜面を落下するもので、表土の地温が1日のうちで零度を前後する場合に発生する。 	p19
	発表年：1998／著者：塚本良則／掲載誌：森林科学 22, p. 16-22／タイトル：森林が表面侵食を防ぐ	
⑥ (5441)	<ul style="list-style-type: none"> 透水性のきわめて低いクラストの形成により不飽和流が生起した。 降雨強度が飽和透水係数に対応する浸入量より小さくとも、表面流出が発生する。 	図-3,図-4、表-3 など
	発表年：1991／著者：坂西 研二，早瀬 吉雄／掲載誌：農業土木学会論文集(152), 47-54,a2／タイトル：マサ土裸地面の降雨流出におけるクラストの影響に関する実験的研究	

<p>⑦ (5442)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・クラストが形成されると浸透能は低下した ・裸地では植生区よりも浸透能が低下した ・クラスト形成された土壌表層は粘土・シルト分が多かった 	<p>全文、特に表-1,2、図-3-7</p>
<p>発表年：1999／著者：宮良志乃、志茂守孝、大城友和、翁長謙良、呉屋昭／掲載誌：琉球大学農学部学術報告 46, 113-119／タイトル：クラストが土壌の浸透能に及ぼす影響について一現地圃場における事例</p>		
<p>⑧ (119)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・落葉堆積量の増加とともに、侵食土砂量は指数的に減少した。 ・同量の落葉堆積量であれば、ヒノキ葉のみの落葉よりも、アカマツの葉が混じったほうが侵食土砂抑制効果が高い。 ・しかし、ヒノキ葉が全面的に堆積した場合、ヒノキのみでもアカマツと混交した場合でも土壌侵食抑制効果に差は生じない。 	<p>図-16</p>
<p>発表年：1992／著者：服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治／掲載誌：森林総合研究所研究報告 362:1-34／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響</p>		
<p>⑨ (5443)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・根を含めた植生が多いと流下水・飛散水が減少し、移動土砂量が減少した。 ・地表部を刈り取り、根のみを残した場合でも無植生区と比べて土砂移動量が少なかった。 	<p>全文</p>
<p>発表年：1985／著者：遠藤 治郎, 霜鳥 重雄, 生田 毅／掲載誌：砂防学会誌 38(1), 15-17／タイトル：草類の根の表面侵食防止効果に関する実験</p>		
<p>⑩ (5444)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・林内降雨の運動エネルギー量は樹幹高が 5-6m になるまで急激に増加し、14-15m で一定値に近づく。 ・林内の雨滴の運動エネルギーと林外雨の運動エネルギーが等しくなる樹冠高はおおよそ 5m であり、樹冠高がそれより高くなると林内雨の運動エネルギーは林外雨より大きくなる。 	<p>全文、特に図-5</p>
<p>発表年：1976／著者：塚本良則／掲載誌：森林立地 5:5-9／タイトル：森林樹冠と雨滴侵食</p>		
<p>⑪ (5445)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨 1mm あたりの土壌侵食量と林床合計被覆率（林床植生＋落葉の被覆率）は指数関数で表される強い負の相関が認められた。 ・林床合計被覆率が小さい範囲では、林床合計被覆率のわずかな変化が土壌侵食量に大きな影響を与えている。 	<p>全文、特に図-11</p>
<p>発表年：2010／著者：初磊、石川芳治、白木克繁、若原妙子、内山佳美／掲載誌：日本森林学会誌 92,261-268／タイトル：丹沢港平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係</p>		

<p>⑫ (72)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・樹冠が鬱閉し、下層植生が衰退した管理不足のヒノキ人工林で地表流を観測した。 ・管理放棄されたヒノキ林では、広葉樹林の約 2.4 倍の地表流が流出した。 	<p>全文</p>
<p>発表年:2008/著者:平野 智章, 寺嶋 智巳, 中村 智博, 青木 文聡, 境優/掲載誌:地形 29(3), 255-280/タイトル:管理放棄されたヒノキ人工林および天然生落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構</p>		
<p>⑬ (5446)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・シカにより植生が衰退したブナ林斜面で、土壌侵食量を測定した。 ・被度小(植生被覆率約 1%、ほぼ裸地)プロットでは、土壌侵食量は年間約 10mm にも達した(2005 年データ)。 ・被度大(植生被覆率約 80%)プロットでは、被度小に比べ侵食量が 2 桁小さかった。 ・被度小プロットは、上層のブナ林からリターが供給される秋から春にかけての侵食量は減少した。 ・が、地表面にリター層の少なくなる夏場では裸地同様に激しい侵食が観測された。 	<p>全文、特に図-8</p>
<p>発表年:2008/著者:若原妙子, 石川芳治, 白木克繁, 戸田浩人, 宮貴大, 片岡史子, 鈴木雅一, 内山佳美/掲載誌:日本森林学会誌 90(6), 378-385/タイトル:ブナ林の林床植生衰退地におけるリター堆積量と土壌侵食量の季節変化</p>		

問 08-2	優占樹種の違いは表面侵食防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>優先樹種の違いが表面侵食に与える影響は、ヒノキを除き少ない。優先樹種に関わらず地表面が下層植生や落葉（リター）で十分に覆われていれば、樹種にかかわらず表面侵食は抑制される。以下、理由を述べる。</p> <p>これまでの研究から、森林が表面侵食を防止するのは地表被覆としての落葉・落枝や下層植生の働きであり、樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していない。そのため表面侵食防止には、下層植生のほうが樹木より有効である（根拠①）。表面侵食は地形（斜面地形、傾斜角、斜面長）・地質（土質）・植生を素因とし、そこに誘因である気象が作用する複雑な現象である（根拠②、根拠③、根拠④）。植生以外の要因（地形・地質）は侵食の促進方向に作用する（根拠⑤）。気象要因として、凍上融解（根拠⑥、根拠⑦）、降雨による雨滴侵食（根拠⑧、根拠⑨）、地表流による侵食が挙げられる。このうち凍上融解は地面が凍結・融解を繰り返す際に生じる現象であり、地表面のリター被覆により抑制される（根拠⑩）。</p> <p>森林樹冠は林外に比べて大粒の雨滴を作る。大粒の雨滴は、樹冠が高い場合は侵食増加の方向に作用し、低い場合は侵食減少の方向に作用する（根拠⑤、⑪）。優占樹種に関わらず、下層植生やリターなどの林床面被覆は雨滴や地表流による表面侵食を抑制する（根拠⑫）。下層植生が少ない林内でも、リターの地表面被覆率が高ければ表面侵食を抑制する（根拠⑬）。毎年樹冠から供給されるリターフォール量は樹種に関わらず大きな差はない（根拠⑭）が、単葉の葉面積が大きいほど侵食防止効果が高い（根拠⑮）。樹種ごとに植生・リターの林床被覆率は季節変動する。スギ林・アカマツ林・落葉広葉樹林の林床被覆率では常に高い値であったが、ヒノキ林では林床被覆率は季節や林齢により増減し、著しく低下する期間があった（根拠⑯）。</p> <p>林冠が閉鎖し林内照度が低下すると、樹種によらず林床植生は衰退・消失する。しかしヒノキ林では植生消失に加え、リター被覆率も著しく低下する。（根拠⑯、根拠⑰）。ヒノキのリターは細片化しやすく、流亡したり表土に混入されやすい（根拠⑱）ためである。林床植生が乏しいと容易に地表面が裸地化し侵食が起こる（根拠⑯、根拠⑱）。更にヒノキ林の表土は撥水性が強く（根拠⑲）、このような特徴も表面侵食の発生に寄与する。</p> <p>近年、スギ林でも間伐遅れなどの手入れ不足のため、林冠が閉塞し林床植生のないケースが見られる。特にスギ若齢林において林床植生が欠如する傾向があり（根拠⑳）、表面侵食が生じる可能性がある。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5447)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林の表面侵食防止機能は、地表被覆を構成する落葉・落枝や下層植生の働きにある。 ・樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していないが、落葉・落枝の供給として役立つ。 ・そのため、落葉・落枝による地表面保護をできる 	全文、特に p43-45, 52

	<p>だけ破壊しないようにする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下草の繁茂を促進する。 ・人工針葉樹林では20年生まで落葉、下草が生育しないので、積極的に枝打ち、除間伐を行い、枝葉を地表に与えることとし、また直射日光を林内に入れて下草を生やすようにする。 	
	<p>発表年：1991／著者：塚本良則／掲載誌：東京農工大学農学部演習林報告 29 43-54／タイトル：斜面侵食防止からみた森林施業のあり方</p>	
② (5448)	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌タイプと被覆によってクラスト形成メカニズムが異なった ・中古生層土壌の裸地では難透水性の erosion crust が形成された ・花崗岩土壌の裸地では、skin seal が形成され雨水の浸透を妨げた ・マツリター堆積下では depositional crust が形成された 	<p>全文、特に図-5</p>
	<p>発表年：1998／著者：恩田裕一、山本高也／掲載誌：日本森林学会誌 80(4) 302-310／タイトル：リターに被覆された土壌表面におけるクラスト形成プロセスの解明</p>	
③ (5449)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林からの土壌流出メカニズムは現状のモデルでは十分に考慮されていない ・土壌流出の影響因子は相互に関係しあっており、定量的な関係を見出すことは難しい 	<p>全文、特に p398 と p 406</p>
	<p>発表年：2012／著者：池田英史、若松孝志、中村耕、阿部聖哉／掲載誌：水文・水資源学会誌 Vol25(6) 396-409／タイトル：森林流域からの土壌流出の実態・支配因子と予測モデル開発の現状と課題</p>	
④ (5450)	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種と微地形の異なる複数の林分で林床被覆と雨滴侵食および表面流侵食の発生状況を調査・解析した。 ・林床被覆はヒノキ林で低く、微地形では下部谷壁斜面で低い傾向が見られた。 ・モデルを用いて解析したところ、侵食の発生は被覆のみのモデルよりも地形因子を含むモデルで当てはまりが良かった。 ・林床被覆の安定性や被覆による侵食の抑止効果は地形によって異なることが示された。 ・林床被覆は雨滴侵食防止の効果を有するが、その効果は地形に依存している。 ・そのため森林の侵食評価には、林床被覆だけでなく地形の考慮が必要である。 	<p>全文、特に p114-115</p>
	<p>発表年：2015／著者：平田令子、木崎巧治、伊藤哲、光田靖、清水収／森林立地 57(2) 109-116／タイトル：立地環境および林相の違いが林床被覆を通して表土侵食に与える影響</p>	

<p>⑤ 5451)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・日本の山地侵食で起こる侵食に関する自然的要因のうち、森林のみが侵食の抵抗の方向に働く ・降雨により生じる侵食は森林の変化と関係する 	<p>表-1</p>
<p>発表年：1998／著者：塚本良則／掲載誌：森林科学 22 2-9／タイトル：森林は山地の侵食防止にどのように機能しているか</p>		
<p>⑥ (5436)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種と微地形の異なる複数の林分で林床被覆と雨滴侵食および表面流侵食の発生状況を調査・解析した。 ・林床被覆はヒノキ林で低く、微地形では下部谷壁斜面で低い傾向が見られた。 ・モデルを用いて解析したところ、侵食の発生は被覆のみのモデルよりも地形因子を含むモデルで当てはまりが良かった。 ・林床被覆の安定性や被覆による侵食の抑止効果は地形によって異なることが示された。 ・林床被覆は雨滴侵食防止の効果を有するが、その効果は地形に依存している。 ・そのため森林の侵食評価には、林床被覆だけでなく地形の考慮が必要である。 	<p>全文、特に図 1</p>
<p>発表年：2002／著者：北原曜／掲載誌：砂防学会誌 54(9), 91-101／タイトル：植生の表面侵食防止機能</p>		
<p>⑦ (5452)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊地（裸地）での侵食は降雨と凍上融解により生産された。 ・ヒノキ人工林での総侵食土砂量は、崩壊地（裸地）と比べ4桁小さかった。 ・ヒノキ林では侵食土砂量に季節変化は見られなかったが、侵食土砂量と降雨指標の関係は優意であった。 	<p>図-3</p>
<p>発表年：2004／著者：小林由佳、北原曜、小野裕／掲載誌：日本森林学会誌 86(4) 365-371／タイトル：風化花崗岩地帯における崩壊地の表面侵食とUSLEによるその解析</p>		
<p>⑧ (5453)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌表面に落下した雨滴は、土壌の水分状態に応じて穿孔径と穿孔深、飛沫の飛散距離が変化する。 	<p>p23-24</p>
<p>発表年：1951／著者：三原義秋／掲載誌：農業技術研究所報告 A 物理統計 (1), 1-58／タイトル：雨滴と土壌侵食</p>		

<p>⑨ (5439)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・雨水流は深さ数 mm 以下の薄層流に雨滴の衝撃が加わった特異な流れである。 ・雨水流に雨滴が衝突する際に形成される水中ドーム（半球状の空気球）が、土粒子剥離に関与することを高速度撮影を中心とした写真解析によって明らかにした。 ・土壌面が湛水し、かつ斜面下方に速度成分を持つことで剥離した土粒子は移動しやすくなる。 	<p>全文、特に写真 3、 図 7</p>
<p>発表年：1989／著者：深田三夫、藤原輝男／掲載誌：農業土木学会論文集 1989(143), 21-29,a／タイトル：湛水土壌面における雨滴作用の写真解析-雨滴侵食の基礎的研究(I)</p>		
<p>⑩ (5440)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・凍上融解侵食は、夜間に霜柱や土壌凍結で持ち上げられた土砂が、日中、気温や日射により融解し斜面を落下するもので、表土の地温が 1 日のうちで零度を前後する場合に発生する。 	<p>p19</p>
<p>発表年：1998／著者：北原曜／掲載誌：森林科学 22, p. 16-22／タイトル：森林が表面侵食を防ぐ</p>		
<p>⑪ (5444)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・広葉樹と針葉樹では雨滴サイズに大きな差は無かった。 ・広葉樹では葉面積の大きなものが比較的大きな雨滴を作りやすい ・針葉樹ではスギのように針葉が短く葉が集中しているものが大滴を作りやすい。 ・マツのように針葉が単一に分離しているものは小径になりやすい（塚本 1976） 	<p>全文、特に p6</p>
<p>発表年：1976／著者：塚本良則／掲載誌：森林立地 5:5-9／タイトル：森林樹冠と雨滴侵食</p>		
<p>⑫ (119)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ林内の裸地化はヒノキの生態的特性に負うところが大きい。 ・落葉した鱗片葉は、雨滴などの衝撃により小枝から離脱し、細片化する。 ・特に傾斜地では、細片が落下雨滴や地表流などにより容易に移動するため、AO 層被覆が失われ、裸地化が進む。 ・このとき、細片が疎水性をもつことも裸地化を助長する。 ・落葉堆積量の増加とともに、侵食土砂量は指数的に減少した。 ・同量の落葉堆積量であれば、ヒノキ葉のみの落葉よりも、アカマツの葉が混じったほうが侵食土砂抑制効果が高い。 ・しかし、ヒノキ葉が全面的に堆積した場合、ヒノキのみでもアカマツと混交した場合でも土壌侵食抑制効果に差は生じない。 	<p>全文、特に p3、図-16</p>

	発表年：1992／著者：服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治／掲載誌：森林総合研究所研究報告 362:1-34／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響	
⑬ (5445)	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨 1mm あたりの土壌侵食量と林床合計被覆率（林床植生＋落葉の被覆率）は指数関数で表される強い負の相関が認められた。 ・林床合計被覆率が小さい範囲では、林床合計被覆率のわずかな変化が土壌侵食量に大きな影響を与えている。 	全文、特に図-11
	発表年：2010／著者：初磊、石川芳治、白木克繁、若原妙子、内山佳美／掲載誌：日本森林学会誌 92,261-268／タイトル：丹沢港平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係	
⑭ (5454)	<ul style="list-style-type: none"> ・落葉量は同一林分でも年変動が大きく、単純に既往研究の観測値を比較することはできない。 ・樹種による落葉量の違いはほとんどないと考えられる。 	全文、特に p112
	発表年：2008／著者：水垣 滋／掲載誌：人工林荒廃と水・土砂流出の実態 恩田裕一編 岩波書店 112-117／タイトル：人工林の土壌侵食に関する従来の研究	
⑮ (5455)	<ul style="list-style-type: none"> ・花崗岩土壌では被度と浸透能の相関が高かった ・古生層土壌では被度と浸透能の相関は低い、植生の葉面積と浸透能は相関が高かった ・雨滴エネルギーを抑止しクラスト形成を妨げる効果は被度により支配されるが、葉の面積が大きいほど効果的であった 	全文、特に図-6
	発表年：1995／著者：恩田裕一、湯川典子／掲載誌：日本森林学会誌 77(5) 399-407／タイトル：ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響 (II) 下層食性の効果に関する室内実験	
⑯ (326)	<ul style="list-style-type: none"> ・スギ、アカマツ、落葉広葉樹の林床被覆率は、林齢によらず常に 90%以上で高かった ・一方、ヒノキ林の林床被覆率は、10-20 年生の幼～若齢期に著しく低下し、40 年生前後の壮齢期に林床植生が回復し始めるまで低い状態が続いた ・林床被覆率を支配する因子は、スギ、アカマツ、落葉広葉樹林では堆積リターであったが、ヒノキ林では林床植生であった 	図-4
	発表年：2000／著者：三浦覚／掲載誌：日本森林学会誌 82 132-140／タイトル：表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価	
⑰ (5456)	<ul style="list-style-type: none"> ・同一地形の同一赦免状に植栽され、同じ施行履歴をもつ林分間で表土移動量を比較した ・リター被覆率はスギ区では 75%以上、アカマツ区では 90%以上だったのに対し、ヒノキ区では 40-60%で推移していた ・ヒノキ区の植生被覆率やリター被覆率は常に他の調査区より低かった・林床被覆は雨滴侵食防止の 	図-3

	<p>効果を有するが、その効果は地形に依存している。</p> <ul style="list-style-type: none"> • そのため森林の侵食評価には、林床被覆だけでなく地形の考慮が必要である。 	
	<p>発表年：2016／著者：渡邊仁志、井川原弘一、茂木靖和、横井秀一、平井敬三／掲載誌：日本森林学会誌 98(5) 193-198／タイトル：植栽樹種の違いが後逸斜面のヒノキ、スギ、アカマツ人工林の表土移行に及ぼす影響</p>	
<p>⑱ (5457)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ヒノキ人工林の A0 層被覆率は、冬季に高く、春から夏に向かって減り、夏季に低く、秋から冬に向かって増えた。 • 20 年生ヒノキ林で、A0 層は夏期には 50%まで低下した • 68 年生ヒノキ林で、A0 層は夏期には 60%まで低下した。 • 夏期の A0 層被覆率低下に最も影響したのは斜面の傾斜各であった。 • 斜面の傾斜が 15-30 度の範囲では草本層被度の影響が明らかであった 	<p>全文、 特に図-2</p>
	<p>発表年：1988／著者：清野嘉之／掲載誌：日本森林学会誌 70 71-74／タイトル：ヒノキ人工林の A0 層被覆率に影響を及ぼす要因の解析</p>	
<p>⑲ (5458)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ヒノキ林表層土壌の強い撥水性が表面流発生の一因であり、さらに撥水性の強度によって表面流出量の変動していた。 • 降雨中には撥水性が徐々に弱くなり、それに伴って表面流出量の減少と雨水の鉛直浸透の形態が変化するという、撥水性と表面流発生、雨水浸透の相互関係が示された 	<p>全文</p>
	<p>発表年：2009／著者：宮田秀介、小杉賢一郎、五味高志／掲載誌：土壌の物理性 111 号, 9-16／タイトル：ヒノキ林小流域の水文過程における土壌撥水性の役割</p>	
<p>⑳ (5459)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 間伐手遅れ林は、間伐対象となる人工林面積の半分以上を占めると見込まれる。 • 間伐手遅れ林は増加している • 過密化したスギ林では、ヒノキ林と比べ土壌流亡が半分程度のため、あまり問題視されてこなかった。 • しかし、特に管理不足のスギ若齢林において林床植生が欠如する傾向が著しい。 • スギ林と水土保持機能の研究はまだ少なく、早急な知見の蓄積が望まれる。 	<p>全文</p>
	<p>発表年：2007／著者：大原偉樹／掲載誌：森林総合研究所研究報告 Vol6,No2(No403) 127-134／タイトル：スギ人工林の間伐にともなう林床植生の変化と水土保持機構に関する研究の必要性</p>	

問 08-3	林相構造（単・複）の違いは表面侵食防止機能の発揮にどのような影響を与えるか
答	<p>林相構造の違いよりも、地表面に近い下層植生の発達が表面侵食防止に影響する。そのため林相構造に関わらず、林内の光環境が良く下層植生やリターで林床が覆われた森林では、表面侵食は生じにくい。ただしヒノキ林では樹冠が閉鎖しやすく、下層植生が衰退しやすく、リターが流亡しやすいため、林相構造によらず表面侵食リスクがある。以下理由を述べる。</p> <p>これまでの研究から、森林が表面侵食を防止するのは地表被覆としての落葉・落枝や下層植生の働きであり、樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していない。そのため表面侵食防止には、下層植生のほうが樹木より有効である（根拠①）。表面侵食は気象、地形、地質（土質）、植生などの要因が複雑に関係して起こる現象で、その誘引として凍上融解（根拠②、根拠③）、降雨による雨滴侵食（根拠④、根拠⑤）、地表流による侵食が挙げられる。このうち凍上融解は地面が凍結・融解を繰り返す際に生じる現象であり、地表面の被覆により抑制される（根拠⑥）。従って下層植生が十分に地表面を覆っていれば、雨滴侵食、地表流による侵食、凍結融解による侵食を抑制する。下層植生が少ない森林では、堆積したリターが表面侵食を防ぐ（根拠⑦、根拠⑧）。そのため、ここでは林相構造が下層植生に及ぼす影響を示す。</p> <p><上層が針葉樹、下層が針葉樹> 上層がヒノキの複層林は、上層がスギの複層林と比較して林内が暗くなりやすく、下層植生の生育が悪い。下層がヒノキの場合、成長により下層木ヒノキの樹冠が閉鎖し、林床植生が乏しくなる（根拠⑨）。ヒノキ林では植生消失に加え、リター被覆率も著しく低下する（根拠⑩、根拠⑪）。ヒノキのリターは細片化しやすく、流亡したり表土に混入されやすい（根拠⑦）ためである。林床植生が乏しいと地表面が裸地化しやすく、侵食が起こる（根拠⑪、根拠⑫）。更にヒノキ林の表土は撥水性が強く（根拠⑬）、このような特徴も表面侵食の発生に寄与する。ヒノキ人工林では低木層の過度の発達は草本層の衰退を招く（根拠⑭）ため、複層林造成にヒノキを用いる場合、林内に光が入るよう密度管理が重要である。</p> <p><上層が広葉樹、下層が広葉樹林> 管理放棄等で樹冠が閉鎖した広葉樹林二次林においては下層植生被覆はわずかであったが、上層木を択伐し林内照度を改善した場合、下層植生は増加した（根拠⑮）。また天然広葉樹林の場合、開空率が増加すると下層植生被覆率も増加した（根拠⑯）。</p> <p><上層が針葉樹、下層が広葉樹林> 林床植生がほとんど無いスギ壮齢林を強度間伐し広葉樹を植栽したところ、林床植生の種数・量が増加した。しかし年数の経過とともに林内照度が低下し、植生の数量も低下した（根拠⑰）。</p> <p><帯状複層林> 林分を樹高程度の幅で帯状に伐採し、伐採跡地に植栽する帯状複層林の場合、単層林と比較して林縁が多く形成され光環境が良好なため、下層植生の生育に有利である（根拠⑱）。</p>

根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5447)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林の表面侵食防止機能は、地表被覆を構成する落葉・落枝や下層植生の働きにある。 ・樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していないが、落葉・落枝の供給として役立つ。 ・そのため、落葉・落枝による地表面保護をできるだけ破壊しないようにする。 ・下草の繁茂を促進する。 ・人工針葉樹林では20年生まで落葉、下草が生育しないので、積極的に枝打ち、除間伐を行い、枝葉を地表に与えることとし、また亜日射を林内に入れて下草を生やすようにする。 	全文、特に p43-45, 52
発表年：1991／著者：塚本良則／掲載誌：東京農工大学農学部演習林報告 29 43-54／タイトル：斜面侵食防止からみた森林施業のあり方		
② (5436)	<ul style="list-style-type: none"> ・本州中部以北では降雨による侵食が凍上融解による侵食を上回ることもある。 ・図-1は北海道（札幌）での侵食要因で、凍上融解による土壌侵食が降雨による土壌侵食を卓越している。 	全文、特に図 1
発表年：2002／著者：北原曜／掲載誌：砂防学会誌 54(9), 91-101／タイトル：植生の表面侵食防止機能		
③ (5452)	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊地（裸地）での侵食は降雨と凍上融解により生産された。 ・ヒノキ人工林での総侵食土砂量は、崩壊地（裸地）と比べ4桁小さかった。 ・ヒノキ林では侵食土砂量に季節変化は見られなかったが、侵食土砂量と降雨指標の関係は優意であった。 	図-3
発表年：2004／著者：小林由佳、北原曜、小野裕／掲載誌：日本森林学会誌 86(4) 365-371／タイトル：風化花崗岩地帯における崩壊地の表面侵食とUSLEによるその解析		
④ (5453)	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌表面に落下した雨滴は、土壌の水分状態に応じて穿孔径と穿孔深、飛沫の飛散距離が変化する。 	p23-24
発表年：1951／著者：三原義秋／掲載誌：農業技術研究所報告 A 物理統計 (1), 1-58／タイトル：雨滴と土壌侵食		
⑤ (5439)	<ul style="list-style-type: none"> ・雨水流は深さ数 mm 以下の薄層流に雨滴の衝撃が加わった特異な流れである。 ・雨水流に雨滴が衝突する際に形成される水中ドーム（半球状の空気球）が、土粒子剥離に関与することを高速度撮影を中心とした写真解析によって明らかにした。 	全文、特に写真3、図 7

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌面が湛水し、かつ斜面下方に速度成分を持つことで剥離した土粒子は移動しやすくなる。 	
	発表年：1989／著者：深田三夫、藤原輝男／掲載誌：農業土木学会論文集 1989(143), 21-29,a／タイトル：湛水土壌面における雨滴作用の写真解析-雨滴侵食の基礎的研究(I)	
⑥ (5436)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凍上融解侵食は、夜間に霜柱や土壌凍結で持ち上げられた土砂が、日中、気温や日射により融解し斜面を落下するもので、表土の地温が 1 日のうちで零度を前後する場合に発生する。 	p19
	発表年：1998／著者：北原曜／掲載誌：1998 年 森林科学 22, p. 16-22／タイトル：森林が表面侵食を防ぐ	
⑦ (119)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落葉堆積量の増加とともに、侵食土砂量は指数的に減少した。 ・ 同量の落葉堆積量であれば、ヒノキ葉のみの落葉よりも、アカマツの葉が混じったほうが侵食土砂抑制効果が高い。 ・ しかし、ヒノキ葉が全面的に堆積した場合、ヒノキのみでもアカマツと混交した場合でも土壌侵食抑制効果に差は生じない。 	図-16
	発表年：1992／著者：服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治／掲載誌：森林総合研究所研究報告 362:1-34／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響	
⑧ (5445)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 降雨 1mm あたりの土壌侵食量と林床合計被覆率（林床植生＋落葉の被覆率）は指数関数で表される強い負の相関が認められた。 ・ 林床合計被覆率が小さい範囲では、林床合計被覆率のわずかな変化が土壌侵食量に大きな影響を与えている。 	全文、特に図-11
	発表年：2010／著者：初磊、石川芳治、白木克繁、若原妙子、内山佳美／掲載誌：日本森林学会誌 92,261-268／タイトル：丹沢港平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係	
⑨ (5460)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上木がヒノキの場合は胸高断面積合計の増加に対して林内相対照度が減少傾向を示したが、スギの場合はこの傾向を示さなかった。 ・ このことから、上木ヒノキ林分は上木スギ林分と比較し、上木の成長に伴う林内相対日射量の減少が大きい。 ・ 上木スギ・ヒノキで下木がヒノキの複層林では、下木（ヒノキ）の成長により下木の樹冠が閉鎖し、林床植生が乏しくなった林分があった。 	全文、特に図-5

	発表年：2001／著者：中岡 圭一、豊田信行、金本知久／掲載誌：愛媛県林業試験場研究報告 21,1-9／タイトル：スギ・ヒノキ複層林造成後の成長と光環境	
⑩ (5461)	<ul style="list-style-type: none"> ・同一地形の同一赦免状に植栽され、同じ施行履歴をもつ林分間で表土移動量を比較した ・リター被覆率はスギ区では 75%以上、アカマツ区では 90%以上だったのに対し、ヒノキ区では 40-60%で推移していた ・ヒノキ区の植生被覆率やリター被覆率は常に他の調査区より低かった 	図-3
	発表年：2016／著者：渡邊仁志、井川原弘一、茂木靖和、横井秀一、平井敬三／掲載誌：日本森林学会誌 98(5) 193-198／タイトル：植栽樹種の違いが後逸斜面のヒノキ、スギ、アカマツ人工林の表土移行に及ぼす影響	
⑪ (5457)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ人工林の A0 層被覆率は、冬季に高く、春から夏に向かって減り、夏季に低く、秋から冬に向かって増えた。 ・20年生ヒノキ林で、A0層は夏期には50%まで低下した ・68年生ヒノキ林で、A0層は夏期には60%まで低下した。 ・夏期の A0 層被覆率低下に最も影響したのは斜面の傾斜各であった。 ・斜面の傾斜が 15-30 度の範囲では草本層被度の影響が明らかであった 	全文、特に図-2
	発表年：1988／著者：清野嘉之／掲載誌：日本森林学会誌 70 71-74／タイトル：ヒノキ人工林の A0 層被覆率に影響を及ぼす要因の解析	
⑫ (31)	<ul style="list-style-type: none"> ・スギ、アカマツ、落葉広葉樹の林床被覆率は、林齢によらず常に 90%以上で高かった ・一方、ヒノキ林の林床被覆率は、10-20 年生の幼～若齢期に著しく低下し、40 年生前後の壮齢期に林床植生が回復し始めるまで低い状態が続いた ・林床被覆率を支配する因子は、スギ、アカマツ、落葉広葉樹林では堆積リターであったが、ヒノキ林では林床植生であった 	図-4
	発表年：2000／著者：三浦覚／掲載誌：日本森林学会誌 82 132-140／タイトル：表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価	
⑬ (5458)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ林表層土壌の強い撥水性が表面流発生の一因であり、さらに撥水性の強度によって表面流出量の変動していた。 ・降雨中には撥水性が徐々に弱くなり、それに伴って表面流出量の減少と雨水の鉛直浸透の形態が変化するという、撥水性と表面流発生、雨水浸透の相互関係が示された 	全文

	<p>発表年：2008／著者：宮田秀介、小杉賢一朗、五味高志／掲載誌：土壤の物理性 111 号, 9-16／タイトル：ヒノキ林小流域の水文過程における土壤撥水性の役割</p>	
⑭ (5462)	<ul style="list-style-type: none"> 立地区分に関わらず（乾性立地、中性立地、湿性立地）草本層は林冠閉鎖以来発達が悪く、40 年生を過ぎてから発達し始めた。 下層植生への間伐の影響は認められなかった。 草本層被度の立地間差は有意ではなかった。 ヒノキの閉鎖林分内の相対照度は 6%以下であり、日平均照度は最大数千 lx となる。 この値は多くの木本植物および陰性草本植物の単葉の光合成速度の光飽和点 5 千～5 万 lx より小さいため、閉鎖林内において多くの植物は満足な光合成活動を行っていない。 	<p>全文、特に図-6</p>
	<p>発表年：1988／著者：清野嘉之／掲載誌：日本森林学会誌 70 455-460／タイトル：ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析</p>	
⑮ (5463)	<ul style="list-style-type: none"> 25-30 年間管理放棄されたコナラ林で、上層木を択伐した明区、林床植生の刈込みのみを行った暗区を作成した。 その 25 年後、明区では下層植生が見られたが（30%）暗区ではほぼ消失した。明区の林内相対光量子は約 11、暗区では約 9 であった。 また、50 年間管理を放棄した対照区では下層植生はほぼ消失し、林内相対光量子は約 5 であった。 	<p>表-2</p>
	<p>発表年：2009／著者：上原三知、重松敏則、藤井義久、岩本振一郎／掲載誌：ランドスケープ研究 72(5) 511-516／タイトル：里山放置林における林内植生構造の変化と自生ツツジ類の動態</p>	
⑯ (5464)	<ul style="list-style-type: none"> 上層を天然生広葉樹林とする複層林の開空率と下層植生の植被率を調査した。 下層植生の植被率は開空度の増加にしたがって増加した。 開空率 40%で植被率はほぼ最大に達し、それ以降は一定（約 80%）の値を示した。 	<p>図-18</p>
	<p>発表年：1998／著者：平田永二、安里練雄、新本光孝、新里孝和／掲載誌：琉球大学農学部学術報告書 45 209-219／タイトル：複層林に関する研究 2. 上層が天然生広葉樹林の場合</p>	
⑰ (5465)	<ul style="list-style-type: none"> 強度間伐（間伐本数率 55.5%）後に落葉広葉樹苗木を植栽したスギ壮齢人工林で、9 年間の下層植生の変化を追った。 間伐 2 年目には林床植生の種数・量ともに増加した。 対照区（スギ壮齢林）では林床植生の変化は見られなかった。 	<p>図-1</p>
	<p>発表年：2006／著者：吉野豊、前田雅量／掲載誌：兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 53 5-9／タイトル：針広混交林育成試験(2)</p>	

<p>⑱ (5466)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 带状複層林に出現する林床植生は、林縁付近での出現種数・現存量が伐採帯中央並みに多い傾向だった。 ・ このことは、多くの林縁を有する尾慕情複層林の構造が林床植生の成立にとって有効であり、林縁効果による生物多様性の保全機能が高いことを表している。 	<p>図-6</p>
	<p>発表年：2006／著者：谷口真吾／掲載誌：兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 53 10-16／タイトル：带状複層林における下木の成長と林床植生の多様性</p>	

問 08-4	<p>齢級の違いは表面侵食防止機能の発揮にどのような影響を与えるか</p>
<p>答</p>	<p>表面侵食には齢級の違いよりも、地表面に近い下層植生の発達に影響する。齢級に関わらず、林内の光環境が良く下層植生やリターで林床が覆われた森林では表面侵食は生じにくい。ただしヒノキ林では 10~20 年生の幼~若齢期に樹冠が閉鎖しはじめ林床植生が低下し、40 年生前後の壮齢林まで林床植生が回復しにくいいため、表面侵食発生リスクが高い。以下理由を述べる。</p> <p>これまでの研究から、森林が表面侵食を防止するのは地表被覆としての落葉・落枝や下層植生の働きであり、樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していない。そのため表面侵食防止には、下層植生のほうが樹木より有効である（根拠①）。表面侵食は気象、地形、地質（土質）、植生などの要因が複雑に関係して起こる現象で、その誘引として凍上融解（根拠②、根拠③）、降雨による雨滴侵食（根拠④、根拠⑤）、地表流による侵食が挙げられる。このうち凍上融解は地面が凍結・融解を繰り返す際に生じる現象であり、地表面の被覆により抑制される（根拠⑥）。従って下層植生が十分に地表面を覆っていれば、雨滴侵食、地表流による侵食、凍結融解による侵食を抑制する。下層植生が少ない森林では、堆積したリターが表面侵食を防ぐ（根拠⑦、根拠⑧）。ここでは齢級の違いが下層植生に与える影響を示す。</p> <p><0-10 年生：幼齢林> 人工針葉樹林では一般に植栽後数年間は下刈りが行われる。ヒノキは幼齢期前半にかけて、林床植生の展葉と落葉の繰り返しにより、林床植生と堆積リターの占有率は大きく季節変化するが、両者を合わせた林床被覆率はほぼ 100%である（根拠⑨）。スギ・アカマツ幼齢期も同様に、植栽後 10 年程度は下層植生が増加する。落葉広葉樹は萌芽二次林の場合は通常下刈りは行われない。下層植生は 2 年目までは増加するがそれ以降は減少またはほとんど変化しない（根拠⑩）が、堆積リターにより林床は十分に覆われる（根拠⑨）。</p> <p><10-20 年生：幼齢期後半~若齢期初期> 針葉樹・広葉樹ともに樹冠が閉鎖し林内照度が低下し、林床植生が衰退・消失するが、堆積リターにより林床の被覆率は高い。しかしヒノキ林ではリターが流失し、林床の被覆率は変動する（根拠⑪）。</p> <p><30-50 年生：若齢期後半~壮齢期初期> ヒノキ・スギ人工林では間伐や林冠葉量の減少により林内照度が増加し、林床植生は徐々に回復する（根拠⑫）。アカマツ林は林冠が疎で林内に光が入るため、亜高木層や低木層が発達する。林床植生は少ないが厚いリター層を形成する（根拠⑬）。落葉広葉樹も同様に、亜高木層が発達すると共にリターの堆積により林床が被覆される（根拠⑨）。</p> <p><60 年生以降：壮齢期後半~高齢段階> スギ人工林では樹冠部の葉群構造が変化し、林冠の閉鎖が弱まり下層に広葉樹が侵入する（根拠⑭）。無間伐のヒノキ人工林では林冠が完全に閉鎖</p>

	し、広葉樹の侵入はほとんど見られなかった。しかし間伐により林内に光が入ると、下層に落葉広葉樹が侵入する（根拠⑮）。下層の落葉広葉樹は遷移が進むと常緑広葉樹へと優先種が変わる（根拠⑮）。	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5447)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林の表面侵食防止機能は、地表被覆を構成する落葉・落枝や下層植生の働きにある。 ・樹冠は表面侵食防止にはほとんど貢献していないが、落葉・落枝の供給として役立つ。 ・そのため、落葉・落枝による地表面保護をできるだけ破壊しないようにする。 ・下草の繁茂を促進する。 ・人工針葉樹林では20年生まで落葉、下草が生育しないので、積極的に枝打ち、除間伐を行い、枝葉を地表に与えることとし、また垂日射を林内に入れて下草を生やすようにする。 	全文、特に p43-45, 52
	発表年：1991／著者：塚本良則／掲載誌：東京農工大学農学部演習林報告 29 43-54／タイトル：斜面侵食防止からみた森林施業のあり方	
② (5436)	<ul style="list-style-type: none"> ・本州中部以北では降雨による侵食が凍上融解による侵食を上回ることもある。 ・図-1は北海道（札幌）での侵食要因で、凍上融解による土壌侵食が降雨による土壌侵食を卓越している。 	全文、特に図-1
	発表年：2002／著者：恩田裕一、山本高也／掲載誌：砂防学会誌 54(9), 91-101／タイトル：植生の表面侵食防止機能	
③ (5452)	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊地（裸地）での侵食は降雨と凍上融解により生産された。 ・ヒノキ人工林での総侵食土砂量は、崩壊地（裸地）と比べ4桁小さかった。 ・ヒノキ林では侵食土砂量に季節変化は見られなかったが、侵食土砂量と降雨指標の関係は優意であった。 	図-3
	発表年：2004／著者：小林由佳、北原曜、小野裕／掲載誌：日本森林学会誌 86(4) 365-371／タイトル：風化花崗岩地帯における崩壊地の表面侵食とUSLEによるその解析	
④ (5453)	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌表面に落下した雨滴は、土壌の水分状態に応じて穿孔径と穿孔深、飛沫の飛散距離が変化する。 	p23-24
	発表年：1951／著者：三原義秋／掲載誌：農業技術研究所報告 A 物理統計 (1), 1-58／タイトル：雨滴と土壌侵食	

<p>⑤ (5439)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・雨水流は深さ数 mm 以下の薄層流に雨滴の衝撃が加わった特異な流れである。 ・雨水流に雨滴が衝突する際に形成される水中ドーム（半球状の空気球）が、土粒子剥離に関与することを高速撮影を中心とした写真解析によって明らかにした。 ・土壌面が湛水し、かつ斜面下方に速度成分を持つことで剥離した土粒子は移動しやすくなる。 	<p>全文、特に写真3、 図7</p>
<p>発表年：1989／著者：深田三夫、藤原輝男／掲載誌：農業土木学会論文集1989(143), 21-29,a／タイトル：湛水土壌面における雨滴作用の写真解析-雨滴侵食の基礎的研究(I)</p>		
<p>⑥ (5436)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・凍上融解侵食は、夜間に霜柱や土壌凍結で持ち上げられた土砂が、日中、気温や日射により融解し斜面を落下するもので、表土の地温が1日のうちで零度を前後する場合に発生する。 	<p>p19</p>
<p>発表年：1998／著者：北原曜／掲載誌：森林科学 22, p. 16-22／タイトル：森林が表面侵食を防ぐ</p>		
<p>⑦ (119)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・落葉堆積量の増加とともに、侵食土砂量は指数的に減少した。 ・同量の落葉堆積量であれば、ヒノキ葉のみの落葉よりも、アカマツの葉が混じったほうが侵食土砂抑制効果が高い。 ・しかし、ヒノキ葉が全面的に堆積した場合、ヒノキのみでもアカマツと混交した場合でも土壌侵食抑制効果に差は生じない。 	<p>図-16</p>
<p>発表年：1992／著者：服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治／掲載誌：森林総合研究所研究報告 362:1-34／タイトル：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響</p>		
<p>⑧ (5445)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨 1mm あたりの土壌侵食量と林床合計被覆率（林床植生＋落葉の被覆率）は指数関数で表される強い負の相関が認められた。 ・林床合計被覆率が小さい範囲では、林床合計被覆率のわずかな変化が土壌侵食量に大きな影響を与えている。 	<p>全文、特に図-11</p>
<p>発表年：2010／著者：初磊、石川芳治、白木克繁、若原妙子、内山佳美／掲載誌：日本森林学会誌 92,261-268／タイトル：丹沢港平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係</p>		
<p>⑨ (31)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・スギ、アカマツ、落葉広葉樹の林床被覆率は、林齢によらず常に90%以上で高かった ・一方、ヒノキ林の林床被覆率は、10-20年生の幼～若齢期に著しく低下し、40年前後の壮齢期に林床植生が回復し始めるまで低い状態が続いた ・林床被覆率を支配する因子は、スギ、アカマツ、落葉広葉樹林では堆積リターであったが、ヒノキ林では林床植生であった 	<p>図-4</p>

	発表年：2000／著者：三浦覚／掲載誌：日本森林学会誌 82 132-140／タイトル：表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価	
⑩ (5467)	<ul style="list-style-type: none"> ・草本の斜面下部での現存量は、伐採後 1 年目に急増した。 ・斜面下部での現存量は、伐採後 2 年目からは時間の経過とともに減少した。 ・斜面中部・上部では伐採 1 年目に増加したが、その後はほとんど変化しなかった。 	図-3
	発表年：1985／著者：片桐成夫、中尾道広／掲載誌：島根大農研報告 19 39-44／タイトル：皆伐跡地における植生回復にともなう地上部現存量の変化	
⑪ (5457)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ人工林の A0 層被覆率は、冬季に高く、春から夏に向かって減り、夏季に低く、秋から冬に向かって増えた。 ・20 年生ヒノキ林で、A0 層は夏期には 50%まで低下した ・68 年生ヒノキ林で、A0 層は夏期には 60%まで低下した。 ・夏期の A0 層被覆率低下に最も影響したのは斜面の傾斜各であった。 ・斜面の傾斜が 15-30 度の範囲では草本層被度の影響が明らかであった 	全文、特に図-2
	発表年：1988／著者：清野嘉之／掲載誌：日本森林学会誌 70 71-74／タイトル：ヒノキ人工林の A0 層被覆率に影響を及ぼす要因の解析	
⑫ (5483)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ林内で低木層が発達すると、下層植生は衰退した。 ・林齢の違いは間伐効果に影響した。 ・若い林分ほど再開鎖したときの RLIa が低かった。 ・20 年生林分では下層植物群落工はほとんど成長できない。 ・しかし林冠を閉鎖させなければ、下層植物群落を発達させることができる。 	全文、特に図-77
	発表年：1990／著者：清野嘉之／掲載誌：森林総研研報 359 1-122／タイトル：ヒノキ人工林における下層植生群落の動態と制御に関する研究	
⑬ (5468)	<ul style="list-style-type: none"> ・アカマツ林の林分を林木、Ao 層、土壌 (0-25 c m) に区分し、1ha あたりの有機物を林齢との関係で示した。 ・材木および Ao 層における有機物量は、林齢とともに次第に増加した。 	図-2a 有機物量の変化
	発表年：1963／著者：堤利夫／掲載誌：京都大学農学部演習林報告 34: 37-64／タイトル：森林の成立および皆伐が土壌の 2・3 の性質に及ぼす影響について：第 1 報 森林の成立にともなう土壌の性質の変化	

<p>⑭ (5470)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・75-92 年生の高齢スギ林で、立木密度と植被率の関係を調べた。 ・立木密度が ha 当り 500 本未満では、500 本以上の場合と比べ、高齢林の下層を占める木本類、草本類および両者を合わせた全下層植生量は急激に増加する傾向が見られた。 ・下層の木本類の植被率は 25-44%であった。 ・立木密度が 1500 本/ha と過密な林分（相対照度約 4%）において、木本と草本を合せた下層植生被覆率は 28%であった。 ・林内の相対照度が 4%以上では、相対照度の増加とともに下層の木本類、草本類は確実に増加することが明らかになった。 	<p>全文、特に図-5</p>
<p>発表年：2002／著者：西山嘉寛、阿部剛俊／掲載誌：森林応用研究 11-2、1-6／タイトル：スギ高齢林の林地保全に関する研究－林内における下層植生の現存量および植被率の推定</p>		
<p>⑮ (5469)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・20 年生、50 年生、100 年生および 200 年前後のヒノキ林を対象に、高齢級化に伴う群集組成・林分構造の変化を調べた。 ・過去に間伐等をおこなった 200 年前後のヒノキ林では、広葉樹の侵入が著しかった。 ・50 年間間伐をせず、林冠が完全に閉塞した 100 年生ヒノキ林（筑波閉鎖区）では、広葉樹の侵入はほとんど見られなかった。 ・ヒノキ林の齡級が上がると、下層木は落葉広葉樹から常緑広葉樹へと変化した。 	<p>図-3</p>
<p>発表年：2005／著者：鈴木和次郎、須崎智広、奥村忠充、池田伸／掲載誌：日本林学会誌 87(1) 27-35／タイトル：高齢級化に伴うヒノキ人工林の発達様式</p>		

<p>問 08-5</p>	<p>地種（裸・草・森）の違いは表層崩壊防止機能の発揮にどのような影響を与えるか</p>
<p>答</p>	<p>落葉落枝や草本植生等の地被物がない裸地斜面では、降雨は容易に地表流となり表面侵食が卓越し、表層崩壊は発生しにくい。</p> <p>草地斜面では薄い土壌層（根系密集層）が形成されるため、土壌層の飽和で発生する地表流による表面侵食が卓越すると考えられる。</p> <p>森林斜面では草地斜面より厚い土壌層が形成されるため、その土壌層を斜面上に安定させるには草本の根系より太く強い抵抗力を持つ樹木の根が必要になる。</p> <p>樹木の伐採後の斜面には落葉落枝や草本植生が存在し、降雨は容易に浸透して土中流となる。加えて、伐採された樹木の根の腐朽が始まるため表層崩壊発生の可能性を増すことになる。</p> <p>裸地は地被状態により 2 通りが考えられる。耕作後の農地のように草本植物や落葉落枝層が存在せず土壌が露出している場合には雨滴が直接地表面に当たり土壌構造が攪乱される。耕作によって土壌孔隙を増やしたとしても攪乱された小さな土粒子は地表面の土壌孔隙を埋めてしまい、浸透性の悪い雨撃層が形成される。雨撃層が発達すると地中への浸透が減少して地表流が増えるため、リル侵食、ガリ侵食による表面侵食が卓越するようになる（根拠①）。雨水の地中への浸透が減るため土中水は増えず、表層崩壊は発生しにくくなる。村井他（1974）は裸地斜面と落葉地被物を敷き詰めた斜面に人工降雨を降らせ、裸地斜面での表面侵食による流出土砂量が極端に多いことを示した（根拠②）。この状態に比べ、森林伐採後の裸地は下層植生、落葉落枝層が残存しており雨滴による地表面の攪乱は起きず、地表面の高い浸透能は保たれるため、降雨は土中に浸透して表層崩壊を発生させる条件が継続することになる。加えて、伐採された樹木の根系は腐朽が始まり、表層土の崩壊を抑止する抵抗力が低下して、表層崩壊発生の可能性が徐々に増すことになる（根拠③）。</p> <p>牧草地では深さ 0～15cm までの土層で、0～5cm の深さに約 80%の根系が密集して生育しているため、表土の侵食や崩壊を抑止している（根拠④）。根系が密生している表層土は非常に多孔質なため雨水は浸透して土中水となるが、多孔質な表層土は薄いので豪雨時には飽和状態となり地表流が発生しやすいと考えられる。草本植生が養分不足等で衰退している場合には根系による侵食・崩壊抑止機能も低下しているため、この多孔質な表層土の侵食や表層崩壊の発生が考えられる。特に、地形勾配の大きな急傾斜地に形成された草地では注意が必要である。</p> <p>森林の根系は、有機物が多量に含まれ多孔質な土壌中の A 層内に密生している。ここに生育する根系は樹木の水平根や林床の下層木・草本類の根系も含まれる。また、樹木の鉛直根や斜出根は B 層、あるいは C 層の上部にまで生育するものがある。掛谷他（2016）によると、スギでは地表面から深さ 50cm の範囲に根系の 94～98%が生育し、深さ方向には 100～190cm まで生育していると報告している（根拠⑤）。水平根は地表面全体を覆うネットのような状態になっている。根株周辺では太い水平根で、根株から離れるにしたがい細い水平根で構成される。このネットには下層植生の根系も構成要素として含まれる。斜面の一部が崩壊しようとするとき、水平根によるネットがこの崩壊を抑止すると考えられ。鉛直根は地表から下層土に打ち込まれた杭のような状態になっている。一般的には 1 本の樹木に数本の鉛直根が根株直下に生育する。表層土が崩壊しようとするとき、鉛直</p>

	根が崩れようとする表層土を安定した下層土に押し付けて崩壊を抑止すると考えられる（根拠⑥）。	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5421)	<p>降雨による表面侵食は、最初に雨滴衝撃による土粒子の破壊と飛散から開始される。同時に雨滴衝撃によって土壌表面にクラストが形成され浸透能を悪化させる。</p> <p>表面侵食はシート状に斜面全体で発生するが、やがて微少な凹地に集水し合流を始め、掃流力が主となるリル侵食を開始する。</p>	<p>P.93</p> <p>2.表面侵食の発生メカニズム</p> <p>2.1 降雨による表面侵食</p>
	発表年：2002／著者：北原曜／掲載誌：砂防学会誌、54 (5)、92～101／タイトル：植生の表面侵食防止機能	
② (5422)	<p>裸地斜面と落葉地被物を敷き詰めた斜面に人工降雨を降らせ、裸地斜面での表面侵食による流出土砂量が極端に多いことを示した。この状態に比べ、森林伐採後の裸地は下層植生、落葉落枝層が残存しており雨滴による地表面の攪乱は起きず、地表面の高い浸透能は保たれる。</p>	<p>p.66</p> <p>Table.28 落葉地被物と流出土砂量の関係</p>
	発表年：1975／著者：村井宏、岩崎勇作／掲載誌：林試研究報告 274 23～84／タイトル：林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)	
③ (5482)	<p>伐採された樹木の根系は腐朽が始まり、表層土の崩壊を抑止する抵抗力が低下して、表層崩壊発生の可能性が徐々に増すことになる。</p>	<p>p.180 ～ 182</p> <p>Table1～6</p> <p>p.187 Fig.13～17</p>
	発表年：1981／著者：北村嘉一、難波宣士／掲載誌：林試研報 313 175～208／タイトル：伐根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能	
④ (5423)	<p>牧草地では深さ0～15cmまでの土層で、0～5cmの深さに約80%の根系が密集して生育しているため、表土の侵食や崩壊を抑止している。草本植生が養分不足等で衰退している場合には根系による侵食・崩壊抑止機能も低下しているので、この多孔質な表層土の侵食や表層崩壊の発生が考えられる。特に、地形勾配の大きな急傾斜地に形成された草地では注意が必要である。</p>	<p>p.3</p> <p>1. 地目別の土壌・水保全機能の特徴</p> <p>3) 草本植生の被覆と根系の土壌緊迫機能</p> <p>表1 経年草地の牧草根の分布割合</p>
	発表年：2010／著者：山本博／掲載誌：平成21年度環境保全機能を活用した草地整備手法確立調査委託事業、日本草地畜産種子協会、1～5／タイトル：地目別の土壌・水保全機能の特徴	
⑤ (5424)	<p>スギでは地表面から深さ50cmの範囲に根系の94～98%が生育し、深さ方向には100～190cmまで生育していると報告している。</p>	<p>p.302</p> <p>図-5</p>

	発表年：2016／著者：掛谷亮太・瀧澤英紀・小坂 泉・園原和夏・石垣逸朗・阿部和時／掲載誌：日本緑化工学会誌、42 (2)、299～307／タイトル：スギ林分の間伐が根系生長と表層崩壊防止機能に与える影響	
⑥ (5425)	<p>水平根は地表面全体を覆うネットのような状態になっている。根株周辺では太い水平根で、根株から離れるにしたがい細い水平根で構成される。斜面の一部が崩壊しようとするとき、水平根によるネットがこの崩壊を抑止すると考えられる。</p> <p>鉛直根は地表から下層土に打ち込まれた杭のような状態になっている。一般的には1本の樹木に数本の鉛直根が根株直下に生育する。表層土が崩壊しようとするとき、鉛直根が崩れようとする表層土を安定した下層土に押し付けて崩壊を抑止すると考えられる。</p>	p.83 図12 及び文書で解説あり
	発表年：1987／著者：塚本義則／掲載誌：東京農工大学演習林報告 23, p.83、1987／タイトル：樹木根系による斜面安定効果の評価手法の開発に関する研究	

問 08-6	優占樹種の違いは表層崩壊防止機能の発揮にどのような影響を与えるか
答	<p>根による表層崩壊防止機能に関する研究は現在も進行中である。一部の研究では樹種間の差を考察している例もあるが、この機能を評価する手法はまだ確立されておらず、現段階では樹種間の差を明確に示すことは難しいと考えられる。</p> <p>森林の表層崩壊防止機能は崩壊すべり面に生育する根によって発揮されると考えられる。崩壊すべり面に残されている根の本数、直径を調査した報告によると、崩壊地側面ではA・B層に本数密度で97%、C層に3%、直径別には10mm以下が88%を占めたこと、崩壊地底面はC層中にあり、底面で作用している根系は極めて少ないとしている(根拠①)(北村・難波1974)。</p> <p>こうした報告事例が多くあるため、水平根による崩壊防止力が鉛直根の効果より大きいと考え、種々の樹種について水平根による崩壊防止力を求め、樹種間の差異を研究した事例がある。神田他(2011)は水平根による崩壊防止力が最も弱いとされる立木間中央部にトレンチを掘削して根系分布と根直径を測定し、根直径と引き抜き抵抗力の関係式より断面積あたりの引き抜き抵抗力を算出し、これを崩壊防止力ΔCとした。その結果、ケヤキのΔCは、立木間3mの中央値で40kN/m²で、コナラ、クヌギ、カラマツ、スギの5~15kN/m²より強いことを示した(根拠②)。矢下他(2011)は同様の方法でミズナラ、コナラ、カラマツのΔCを比較したところ、ミズナラは立木間1.6~4.9mで46~10kN/m²、コナラは2.2~4.9mで36~14kN/m²の値を示し、カラマツよりも強いことを報告している(根拠③)。</p> <p>以上の研究のように水平根の崩壊防止力ΔCを比較すると、ケヤキは他樹種より強く、カラマツは他樹種より弱いこと等、樹種による違いが存在することが推察される。</p> <p>崩壊地底面における崩壊防止力ΔCを研究した事例がある。佐藤他(2009)は北海道のイタヤカエデ、ミズナラ、シナノキを中心とした70年生の広葉樹林斜面を対象にΔCを研究した。崩壊地底面の深さは、隣接する旧崩壊地のすべり面の土質状態から強風化層と弱風化層の境目であるとし、ボーリング調査から研究対象斜面のすべり面深さを求めた。すべり面に生育する根の本数と直径は樹木根系を掘り出して計測した。3つの斜面でΔCを求めたところ、崩壊地底面の深さ95cmで2.29kN/m²、133cmで1.16kN/m²、164cmで0.5kN/m²であった(根拠④)。阿部(1997)はスギ林の崩壊地底面におけるΔCを推定している。根は崩壊地底面よりも20cm深く侵入したと仮定し、50年生ではすべり面深さ100cmでΔCは1.83kN/m²、140cmでは1.18kN/m²、160cmでは1.07kN/m²と報告している(根拠⑤)。これら佐藤他(2009)と阿部(1997)の研究を比較すると、同程度のΔCが見込まれる。</p> <p>執印他(2009)は約320haのヒノキ林を対象に、逆算法によりヒノキ林の崩壊防止力を推定し、ΔC値は皆伐前の3.2kPaから皆伐後の最低値0.9kPaの間を変動すると述べている(根拠⑥)。この研究で示されているΔCは水平根と鉛直根を含めた崩壊防止力であるため、佐藤他(2009)と阿部(1997)の研究結果とさほどかけ離れた値ではないと考えている。</p>

根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5426)	崩壊すべり面に残されている根の本数、直径を調査した報告によると、崩壊地側面ではA・B層に本数密度で97%、C層に3%、直径別には10mm以下が88%を占めたこと、崩壊地底面はC層中にあり、底面で作用している根系は極めて少ない 発表年：1974／著者：北村嘉一、難波宣士／掲載誌：85回日林講／タイトル：崩壊地における林木の根系分布	p.284 表-1 崩壊地の根系
② (322)	ケヤキの ΔC は、立木間3mの中央値で40kN/m ² で、コナラ、クヌギ、カラマツ、スギの5~15kN/m ² より強いことを示した。 発表年：2011／著者：神田誠也、北原曜、小野裕／掲載誌：中森研／タイトル：鉄道防備林におけるケヤキ人工林の崩壊防止機能	p.202 図-9 立木間隔と ΔC の関係
③ (323)	ミズナラは立木間隔1.6~4.9mで46~10kN/m ² 、コナラは2.2~4.9mで36~14kN/m ² の値を示し、カラマツよりも強い 発表年：2011／著者：矢下誠人、北原曜、小野裕／掲載誌：中森研／タイトル：ミズナラ、コナラ天然広葉樹林における崩壊防止機能の評価	p.206 図-8 カラマツ 立木間隔と ΔC の比較 図-9 クヌギ 立木間隔と ΔC の比較
④ (131)	70年生の広葉樹林斜面を対象に3つの斜面で ΔC を求めたところ、崩壊地底面の深さ95cmで2.29kN/m ² 、133cmで1.16kN/m ² 、164cmで0.5kN/m ² であった。 発表年：2009／著者：佐藤創、大谷健一、神原孝義、鳥田宏行／掲載誌：砂防学会誌、62(4)／タイトル：冷温帯落葉広葉樹林の根系が斜面安定性に及ぼす影響	p.36 文書で説明有り。
⑤ (5427)	スギ林の崩壊地底面における ΔC を推定している。根は崩壊地底面よりも20cm深く侵入したと仮定し、50年生ではすべり面深さ100cmで ΔC は1.83kN/m ² 、140cmでは1.18kN/m ² 、160cmでは1.07kN/m ² と報告している。 発表年：1997／著者：阿部和時／掲載誌：森林総合研究所研究報告、373／タイトル：樹木根系が持つ崩壊防止機能の評価方法に関する研究	p.170 Table.15 根の分布再現モデルと実用 ΔS モデルで推定したセン断補強強度
⑥ (5428)	約320haのヒノキ林を対象に、逆算法によりヒノキ林の崩壊防止力を推定し、皆伐前の3.2kPaから皆伐後の最低値0.9kPaの間を変動すると述べている。 ・林床被覆は雨滴侵食防止の効果を有するが、その効果は地形に依存している。 ・そのため森林の侵食評価には、林床被覆だけでな	p.13 図-6 モデル逆解析による林齢と粘着力の関係

	く地形の考慮が必要である。	
	発表年：2009／著者：執印康裕，鶴見和樹，松英恵吾，有賀一広，田坂聡明／掲載誌：日本緑化工学会誌，35／タイトル：分布型表層崩壊モデルによる樹木根系の崩壊防止機能の定量的評価について	

問 08-7	林相構造（単・複）の違いは表層崩壊防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>林相構造の違いが表層崩壊防止に及ぼす影響を研究した例は、見当たらない。既往の研究では、皆伐後の崩壊防止機能、あるいは近年は間伐後の崩壊防止機能を対象とした研究例がある。</p> <p>樹木が伐採された場合、徐々に根は腐朽して崩壊防止力が減少する。北原（2010）は水野の研究成果を引用し、次のように述べている。“皆伐が実施されてからの年数が異なるヒノキ林分で、根系の崩壊防止力が最弱となる立木間中央部にトレンチを掘削し、出現した根の分布と直径を測定し、さらに根の直径と引き抜き抵抗力の関係式を用いて、土壌断面 1m² 当たりの根の引き抜き抵抗力の合計値を算出する。この値を根系の崩壊防止力 ΔC (kN/m²) とみなし、皆伐後の年数との関係を検討すると、伐採後 5 年では 7% に低下した。”（根拠①）。</p> <p>同様の手法で、永田ほか(2010)は植栽後の若齢ヒノキ林分を対象に、植栽後の年数と崩壊防止力の関係を検討した。皆伐後崩壊防止力は急減し、6 年で最低値 2.2kN/m² 程度まで減少し、崩壊防止力は最も弱くなると推察している。その後は植栽木の成長により 20 年生で約 7.2kN/ m² に回復するとしている（根拠②）。この推察結果は、1930 年代から 1970 年代にかけて表層崩壊が多数発生した地域を対象に実施された林齢や樹種と崩壊面積、崩壊個数などの関係についての統計的研究の結果得られた、「林齢 20 年生前後を境にして幼齢林と壮齢林では崩壊率が大きく異なり、幼齢林は 3 ～6 倍高い」とする結果（塚本 1987）と適合する(根拠③)。</p> <p>したがって、伐採によって崩壊防止力が約 7.2kN/m² 以下に下がらない施業が望ましいことになる。例えば、2 段林施業により上層木を一斉に伐採しても、皆伐施業よりは多くの林木が残されることになり、皆伐後に推定された崩壊防止力 2.2kN/m² まで低下することはなく、また残された林木は主林木の伐採により占有空間が広がり、成長が加速されて崩壊防止力の回復が早まることが考えられ、崩壊防止機能を期待する場合に 2 段林施業は皆伐施業より望ましい施業といえる。</p> <p>択伐施業と崩壊防止機能の関係に関する研究例はみられないが、択伐施業の場合は伐採本数、伐採時期ともに分散されるため、2 段林施業よりも崩壊防止力が下がることはなく、ほぼ一定した崩壊防止力が維持されるものと考えられ、崩壊防止機能を必要とする地域では適した施業方法と考えられる。</p> <p>ここでは、引き抜き抵抗力から崩壊防止力を算出した研究例を引用したが、執印ほか（2009）は逆算法によりヒノキ林の崩壊防止力を推定し、ΔC 値は皆伐前の 3.2kPa から皆伐後の最低値 0.9kPa の間を変動すると述べており（根拠④）、前述の研究例の ΔC とは差がみられる。佐藤ほか（2013）は原位置せん断試験から得られた補強強度は、引き抜き抵抗力から求められる補強強度と比較して 3～4 割程度しかなかったと述べ、引き抜き抵抗力で崩壊防止力を推定すると過大になることを指摘している（根拠⑤）。このように、既往の研究の間では崩壊防止力の推定値に差がみられ、この点に関しては今後の研究を待たねばならないが、伐採後の崩壊防止力の相対的な変動傾向については類似の結果を示している。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等

<p>① (136)</p>	<p>皆伐が実施されてからの年数が異なるヒノキ林分で、根系の崩壊防止力が最弱となる立木間中央部にトレンチを掘削し、出現した根の分布と直径を測定し、さらに根の直径と引き抜き抵抗力の関係式を用いて、土壌断面 1m² 当たりの根の引き抜き抵抗力の合計値を算出する。この値を根系の崩壊防止力 ΔC (kN/m²) とみなし、皆伐後の年数との関係を検討すると、伐採後 5 年では 7% に低下した。</p> <p>発表年：2010／著者：北原 曜／掲載誌：水利科学 No.311／タイトル：森林根系の崩壊防止機能</p>	<p>図-15 伐採後の経過年数にともなう ΔC の低下</p>
<p>② (319)</p>	<p>植栽後の若齢ヒノキ林分を対象に、植栽後の年数と崩壊防止力の関係を検討した。植栽木の成長により 20 年生で約 7.2kN/ m² に回復するとしている。</p> <p>発表年：2010／著者：永田惟人・小野裕・北原曜／掲載誌：中森研 No.58／タイトル：若齢ヒノキ林における崩壊防止機能の力学的評価</p>	<p>図-12 林齢または伐採経過と引き抜き抵抗力の合計値 ΔC の関係</p>
<p>③ (5430)</p>	<p>イ) 林齢 20 年生前後を境にして幼齢林と壮齢林では崩壊率が大きく異なり、幼齢林は 3～6 倍高くなっている。</p> <p>ロ) 研究報告のほとんどが花崗岩地域と新第三紀層の山地を対象にしている。古生層に関しては破碎帯地域のものに限られる。つまり、古生層・中生層地域では崩壊の多発による災害がほとんど無いことを意味している。</p> <p>発表年：1987／著者：塚本義則／掲載誌：東京農工大学演習林報告 23, 65-124／タイトル：樹木根系による斜面安定効果の評価手法の開発に関する研究</p>	<p>p.67 文書で説明されている。</p>
<p>④ (64)</p>	<p>逆算法によりヒノキ林の崩壊防止力を推定し、値は皆伐前の 3.2kPa から皆伐後の最低値 0.9kPa の間を変動する</p> <p>発表年：2015／著者：執印康裕，鶴見和樹，松英恵吾，有賀一広，田坂聡明／掲載誌：緑化学会誌，35／タイトル：分布型表層崩壊モデルによる樹木根系の崩壊防止機能の定量的評価について</p>	<p>p.13 図-6 モデル逆解析による林齢と粘着力の関係</p>
<p>⑤ (5431)</p>	<p>原位置せん断試験から得られた補強強度は、引き抜き抵抗から求められる補強強度と比較して 3～4 割程度しかなかった</p> <p>発表年：2013／著者：佐藤創，大谷健一，神原孝義，鳥田宏行／掲載誌：原位置一面せん断試験による樹木根系の崩壊抵抗力の評価／タイトル：砂防学会誌，66</p>	<p>p.5 図-8 根系補強モデルから予想される根の補強強度と原位置試験における補強強度の関係</p>

問 08-8	<p>齢級の違いは表層崩壊防止機能の発揮にどのような影響を与えるか</p>	
答	<p>齢級が増して樹木の地上部がより大きく生育すると、それに対応して地下の根系も発達する。根系の発達により表層崩壊防止機能が向上することは、山地災害データを統計的に解析した研究でも確認されているし、表層土中の根系量と根の引き抜き抵抗力を用いて定量的に表層崩壊防止機能を評価した研究でも確認されている。</p> <p>日本における森林は、1900年以降の森林伐採の拡大と人工林の拡大によって1950年から1980年の間で約750万haに及ぶ林齢20年生以下の若齢林が存在したと言われる。この時期には表層崩壊が集中的に多数発生する災害が各地で起こった(根拠①)。こうした災害跡地を対象に、齢級の違いが表層崩壊の発生個数・崩壊面積に与える影響に関する統計的調査・研究が多数行われた。</p> <p>例えば、昭和47年7月の神奈川県丹沢災害での調査からは、スギ人工林を対象に、0～10年生、11～20年生、21～40年生、41年生以上に分けて100ha当たりの崩壊箇所数はそれぞれ140、55、28、25、崩壊面積率(%)はそれぞれ12.4、6.7、2.9、1.3で、林齢の増加に伴い減少することを示した(根拠②)。また、昭和33年伊豆水害の調査では、Ⅰ～Ⅶ齢級、及びⅧ齢級以上に区分して、100ha当たりの崩壊箇所数はそれぞれ28、22、8、8、6、4、4、1、崩壊面積率(%)はそれぞれ1.33、1.13、0.55、0.61、0.55、0.28、0.24、0.13となり、同様の結果を得ている(根拠③)。</p> <p>塚本(1987)はこの方法による13の研究例を整理して、「イ) 林齢20年生前後を境にして幼齢林と壮齢林では崩壊率が大きく異なり、幼齢林は3～6倍高くなっている。ロ) 研究報告のほとんどが花崗岩地域と新第三紀層の山地を対象にしている。古生層に関しては破碎帯地域のものに限られる。つまり、古生層・中生層地域では崩壊の多発による災害がほとんど無いことを意味している。」とまとめている(根拠④)。</p> <p>齢級の増加による表層崩壊防止機能の変化を、鉛直根より非常に多く生育する水平根を対象に、また水平根の引き抜き抵抗力を用いて力学的に研究した例がある。水平根は立木間中央地点で最も少なくなるため、この地点に土壌断面を掘り、断面に出現する根の直径と分布位置を、4、9、14、21年生のヒノキ林分で測定した。さらに、根の直径と根の引き抜き抵抗力の相関性が高いことを利用して、断面に生育する根の引き抜き抵抗力の総和を算出し、これを崩壊防止機能とした。その結果、断面積1m²当たりの崩壊防止力は、4年生林分ではほぼ0kN/m²であったが、林齢とともに上昇して21年生林分では約8kN/m²まで上昇したことが示され、林木の生長による崩壊防止機能の向上を裏付けた(根拠⑤)。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5432)	<p>1950年から1980年の間で約750万haに及ぶ林齢20年生以下の若齢林が存在したと言われる。</p> <p>発表年：1998／著者：塚本良則／掲載誌：砂防学会誌，51，3-12／タイトル：森林と表土の荒廃プロセス－小起伏山地におけるハゲ山の形成過程－</p>	p.91 文書で記述

<p>② (5433)</p>	<p>スギ人工林を対象に、0～10年生、11～20年生、21～40年生、41年生以上に分けて100ha当たりの崩壊箇所数はそれぞれ140、55、28、25、崩壊面積率(%)はそれぞれ12.4、6.7、2.9、1.3。</p>	<p>p.171 表-22 森林状態と崩壊(1)</p>
<p>発表年：1975／著者：秋谷孝一ほか／掲載誌：森林特性に関する研究、神奈川県丹沢地区、森林状態と崩壊／タイトル：昭和47年7月豪雨災害に関する特別研究報告書、科学技術省、163～182</p>		
<p>③ (5434)</p>	<p>I～VII齢級、及びVIII齢級以上に区分して、100ha当たりの崩壊箇所数はそれぞれ28、22、8、8、6、4、4、1、崩壊面積率(%)はそれぞれ1.33、1.13、0.55、0.61、0.55、0.28、0.24、0.13</p>	<p>p.106 表-22 国有林の齢級別崩壊状況</p>
<p>発表年：1959／著者：川口武雄ほか／掲載誌：林試研報、117、84～120／タイトル：昭和33年伊豆水害の山地の崩壊、土石流出とその対策</p>		
<p>④ (5435)</p>	<p>イ) 林齢20年生前後を境にして幼齢林と壮齢林では崩壊率が大きく異なり、幼齢林は3～6倍高くなっている。 ロ) 研究報告のほとんどが花崗岩地域と新第三紀層の山地を対象にしている。古生層に関しては破碎帯地域のものに限られる。つまり、古生層・中生層地域では崩壊の多発による災害がほとんど無いことを意味している。</p>	<p>p.67 文書で説明されている。</p>
<p>発表年：1987／著者：塚本義則／掲載誌：東京農工大学演習林報告 23, 65-124／タイトル：樹木根系による斜面安定効果の評価手法の開発に関する研究</p>		
<p>⑤ (319)</p>	<p>立木間中央地点の断面積1m²当たりの崩壊防止力は、4年生林分ではほぼ0kN/m²であったが、林齢とともに上昇して21年生林分では約8kN/m²まで上昇したことが示され、林木の生長による崩壊防止機能の向上を裏付けた。</p>	<p>p.186 図-12 林齢または伐後経過年数とΔCの関係</p>
<p>発表年：2010／著者：永田惟人ほか／掲載誌：中森研 No.58／タイトル：若齢ヒノキ林における崩壊防止機能の力学的評価</p>		

問 08-9	優占樹種の違いはその他土砂災害（落石・土石流・雪崩等）防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>現在のところ国内には当該分野の研究事例は乏しく、今回調査した範囲において根拠とする有力な論文は見当たらなかった。しかしながら、海外の論文等から以下のように類推することが可能である。</p> <p>落石の到達距離の低減や運動エネルギーの減衰に森林が寄与し、その効果は胸高直径や立木密度によって異なることが知られている（根拠①）。また、同じ胸高直径でも樹種によってその効果は異なり、針葉樹より広葉樹の効果が高いことが報告されている（根拠②）。</p> <p>土石流の多くが斜面崩壊から発生することを考慮すれば、本問はまず、優先樹種が斜面崩壊に与える影響とも密接に関係する。土石流の流下に関しては、流木によって土石流の到達距離が短縮されることが報告されている（根拠③）。土石流発生後の流木量は広葉樹林より針葉樹林で大きいこと（根拠④）から、針葉樹によって土石流の到達範囲の抑制が生じる可能性がある。ただし、根拠④の結果は、広葉樹林が土石流に対してより高い抵抗性を有する可能性があることも示唆する。また、一般に流木の流下距離は長いため、針葉樹の方が土石流堆積時に捕捉されなかった流木によって下流に被害を及ぼす可能性が高いとも言える。</p> <p>雪崩の抑制に関して森林の効果は限定的であるとの認識が一般的である（根拠⑤）が、雪崩の発生に関しては森林による抑制効果が見られる（根拠⑥）。優先樹種について、落葉林に比べて常緑針葉樹林で発生抑制効果が顕著であることが報告されている（根拠⑥）。ただし、雪崩の発生域では森林の樹種構成が雪崩による攪乱の影響を大きく受けるため、優先樹種と雪崩の発生頻度の間には相互作用があることに注意が必要である（根拠⑤）。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (3415)	<p>・「average distance between contacts」と呼ばれる落石の到達距離の経験的な評価手法が、樹林帯の幅や立木密度、DBH などに基つき提案されている。</p>	<p>原典は入手できなかったが、具体的な式形は Brauner et al. (2005)の式(1)-(3)に示されている。 Brauner et al. (2005) Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. For Ecol Manage 207: 75-85.</p> <p>発表年：1989／著者：Gsteiger, P／掲載誌：Diploma Thesis Geography, Department of Geography, University of Berne／タイトル：Steinschlag Wald Relief Empirische Grundlagen zur Steinschlagmodellierung.</p>

<p>② (3416)</p>	<p>・落石の実証実験の結果に基づき、DBH の増大に伴い落石のエネルギーが減衰されること、それが樹種によって異なり、針葉樹より広葉樹の効果が高いことが占められている。</p>	<p>Fig. 3-6</p>
<p>発表年:2005/著者:Dorren LKA, Berger F/掲載誌:Tree Physiol 26: 63-71/タイトル: Stem breakage of trees and energy dissipation at rockfall impacts</p>		
<p>③ (3417)</p>	<p>・土石流の数値計算結果から、流木の取り込みを考慮した場合に土石流の到達範囲が短くなることを示している。</p>	<p>Fig. 10</p>
<p>発表年:2003/著者:Stephen T. Lancaster, Shannon K. Hayes, Gordon E. Grant / Water Resources Research 39, 1168. doi: 10.1029/2001WR001227, 2003/タイトル: Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds</p>		
<p>④ (3418)</p>	<p>・土石流とともに発生した流木について、過去の実績調査に基づき発生流木量と流域面積の関係を示している。流域の大部分が広葉樹に覆われている場合より、針葉樹に覆われている場合の方が流木量が大きい。</p>	<p>図 13</p>
<p>発表年:2016/著者:国土交通省国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室/掲載誌:国総研資料 第 904 号/タイトル:砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説</p>		
<p>⑤ (3419)</p>	<p>・既往研究を引用しつつ、大規模な雪崩に対して森林がほとんど影響しないことを説明。 ・雪崩の発生頻度が高いほど、森林を構成する樹種が増えることを説明。</p>	<p>2.3 節第一段落 Fig. 2</p>
<p>発表年:2009/著者:Peter Bebi, Dominik Kulakowski, Christian Rixen /掲載誌: Forest Ecology and Management 257, 1883-1892/タイトル: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management</p>		
<p>⑥ (3420)</p>	<p>・ Fig. 2 とそれに関連する記述(非森林地での雪崩発生勾配に関する既往研究との比較)から、森林があることで雪崩の発生勾配が高くなっていることを説明。 ・対象地での森林特性と、雪崩発生地点での森林特性の比較を樹種ごとに行い、雪崩発生抑制効果の比較をした結果、常緑針葉樹(Spruce)がもっとも効果を発揮することを示している。</p>	<p>Fig. 2 Fig.2 -5</p>
<p>発表年:1993/著者: SCHNEEBELI, M.; MEYER-GRASS, M./掲載誌: Proceedings International Snow Science Workshop. Breckenridge, Colorado 4-8 Oct 1992: 176-181./タイトル: Avalanche starting zones below the timber line structure of forest</p>		

問 08-10	林相構造（単・複）の違いはその他土砂災害（落石・土石流・雪崩等）防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>現在のところ国内には当該分野の研究事例は乏しく、今回調査した範囲において根拠とする有力な論文は見当たらなかった。しかしながら、海外の論文等から以下のように類推することが可能である。</p> <p>落石の到達距離の低減や運動エネルギーの減衰に森林が寄与し、その効果は胸高直径や立木密度によって異なることが知られている（根拠①）。また、同じ胸高直径でも樹種によってその効果は異なり、針葉樹より広葉樹の効果が高いことが報告されている（根拠②）。したがって、林相構造によってその効果も変わり、効果的、および効果的でない単相林が存在するとともに、複相林は両者の中間的な効果を発揮すると考えられる。</p> <p>土石流の多くが斜面崩壊から発生することを考慮すれば、本問はまず、林相構造が斜面崩壊に与える影響とも密接に関係する。土石流の流下に関しては、流木によって土石流の到達距離が短縮されること（根拠③）、土石流発生後の流木量は広葉樹より針葉樹で大きいこと（根拠④）から、針葉樹によって土石流の到達範囲の抑制が生じる可能性がある。あるいは、根拠 4 の結果は、広葉樹林において土石流の発達（流木の取り込み）が抑制されていることに対応している可能性がある。どちらにしても、林相構造によってその影響も変わり、影響の大きい、もしくは影響の小さい単相林が存在するとともに、複相林は両者の中間的な影響を与えると考えられる。</p> <p>雪崩の流下抑制に関して森林の影響は限定的であるとの認識が一般的である（根拠⑤）が、雪崩の発生に関しては森林による抑制効果が見られる（根拠⑥）。根拠⑥では、林相構造の違いによる効果の差異は見られないが、優先樹種による効果の違いが報告されているため、林相構造によってその影響も変わる。すなわち、影響の大きい、もしくは影響の小さい単相林が存在するとともに、複相林は両者の中間的な影響を与えると考えられる。ただし、雪崩の発生域では森林の樹種構成が雪崩による攪乱の影響を大きく受けるため、林相構造と雪崩の発生頻度の間には相互作用があることに注意が必要である（根拠⑤）。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (3415)	<ul style="list-style-type: none"> 「average distance between contacts」と呼ばれる落石の到達距離の経験的な評価手法が、樹林帯の幅や立木密度、DBH などに基づき提案されている。 	<p>原典は入手できなかったが、具体的な式形は Brauner et al. (2005) の式 (1)-(3) に示されている。</p> <p>Brauner et al. (2005) Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. For Ecol Manage 207: 75-85.</p>

	発表年：1989／著者：Gsteiger, P／掲載誌：Diploma Thesis Geography, Department of Geography, University of Berne／タイトル：Steinschlag Wald Relief Empirische Grundlagen zur Steinschlagmodellierung.	
② (3416)	・落石の実証実験の結果に基づき、DBH の増大に伴い落石のエネルギーが減衰されること、それが樹種によって異なり、針葉樹より広葉樹の効果が高いことが占められている。	Fig. 3-6
	発表年：2005／著者：Dorren LKA, Berger F／掲載誌：Tree Physiol 26: 63–71／タイトル：Stem breakage of trees and energy dissipation at rockfall impacts	
③ (3417)	・土石流の数値計算結果から、流木の取り込みを考慮した場合に土石流の到達範囲が短くなることを示している。	Fig. 10
	発表年：2003／著者：Stephen T. Lancaster, Shannon K. Hayes, Gordon E. Grant / Water Resources Research 39, 1168. doi: 10.1029/2001WR001227, 2003／タイトル：Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds	
④ (3418)	・土石流とともに発生した流木について、過去の実績調査に基づき発生流木量と流域面積の関係を示している。流域の大部分が広葉樹に覆われている場合より、針葉樹に覆われている場合の方が流木量が大きい。	図 13
	発表年：2016／著者：国土交通省国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室／掲載誌：国総研資料 第 904 号／タイトル：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説	
⑤ (3419)	・既往研究を引用しつつ、大規模な雪崩に対して森林がほとんど影響しないことを説明。 ・雪崩の発生頻度が高いほど、森林を構成する樹種が増えることを説明。	2.3 節第一段落 Fig. 2
	発表年：2009／著者：Peter Bebi, Dominik Kulakowski, Christian Rixen / 掲載誌：Forest Ecology and Management 257, 1883–1892／タイトル：Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management	
⑥ (3420)	・ Fig. 2 とそれに関連する記述（非森林地での雪崩発生勾配に関する既往研究との比較）から、森林があることで雪崩の発生勾配が高くなっていることを説明。 ・対象地での森林特性と、雪崩発生地点での森林特性の比較を樹種ごとに行い、雪崩発生抑制効果の比較をした結果、常緑針葉樹（Spruce）がもっとも効果を発揮することを示している。	Fig. 2 Fig.2 -5
	発表年：1993／著者：SCHNEEBELI, M.; MEYER-GRASS, M. / 掲載誌：Proceedings International Snow Science Workshop. Breckenridge, Colorado 4–8 Oct 1992: 176–181. / タイトル：Avalanche starting zones below the timber line structure of forest	

問 08-11	<p>齢級の違いはその他土砂災害（落石・土石流・雪崩等）防止機能の発揮にどのような影響を与えるか</p>	
答	<p>現在のところ国内には当該分野の研究事例は乏しく、今回調査した範囲において根拠とする有力な論文は見当たらなかった。しかしながら、海外の論文等から以下のように類推することが可能である。</p> <p>落石の到達距離の低減や運動エネルギーの減衰に森林が寄与し、その効果は胸高直径や立木密度によって異なることが知られている（根拠①、根拠②）。胸高直径が大きいほど落石の運動エネルギーが減衰することから、齢級の増大とともに森林が落石防止に及ぼす効果は大きくなると考えられる。</p> <p>土石流の多くが斜面崩壊から発生することを考慮すれば、本問はまず、齢級の違いが斜面崩壊に与える影響とも密接に関係する。土石流の流下に関しては、流木によって土石流の到達距離が短縮されること（根拠③）、多くの土石流が樹林帯に突入した際に停止すること（根拠④）が報告されている。その機構を考察すれば、前者は樹高や直径が大きいほど、後者は直径や根系支持力が大きいほど効果を発揮すると推測されるため、齢級による効果の違いが存在することが考えられるが、十分に実証されてはいない。</p> <p>雪崩の流下抑制に関して森林の影響は限定的であるとの認識が一般的である（根拠⑤）が、雪崩の発生に関しては森林による抑制効果が見られる（根拠⑥）。齢級の影響を明らかにした報告はないが、根拠⑥によれば、樹木直径が大きいほど雪崩発生抑制効果が高いことから、齢級による効果の違いが存在することが考えられる。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (3415)	<p>・「average distance between contacts」と呼ばれる落石の到達距離の経験的な評価手法が、樹林帯の幅や立木密度、DBH などに基づき提案されている。</p>	<p>原典は入手できなかったが、具体的な式形は Brauner et al. (2005) の式 (1)-(3) に示されている。 Brauner et al. (2005) Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. For Ecol Manage 207: 75-85.</p> <p>発表年：1989／著者：Gsteiger, P／掲載誌：Diploma Thesis Geography, Department of Geography, University of Berne／タイトル：Steinschlag Wald Relief Empirische Grundlagen zur Steinschlagmodellierung.</p>
② (3414)	<p>・落石の実証実験の結果に基づき、DBH の増大に伴い落石のエネルギーが減衰されること、それが樹種によって異なり、針葉樹より広葉樹の効果が高いことが占められている。</p>	Fig. 3-6

	発表年:2005/著者:Dorren LKA, Berger F/掲載誌:Tree Physiol 26: 63-71/タイトル: Stem breakage of trees and energy dissipation at rockfall impacts	
③ (3416)	・土石流の数値計算結果から、流木の取り込みを考慮した場合に土石流の到達範囲が短くなることを示している.	Fig. 10
	発表年:2003/著者:Stephen T. Lancaster, Shannon K. Hayes, Gordon E. Grant / Water Resources Research 39, 1168. doi: 10.1029/2001WR001227, 2003/タイトル: Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds	
④ (3417)	・土石流の多くが樹林帯到達後すぐに停止している.	Table 3
	発表年: 2010/著者: R.H. Guthrie, A. Hockin, L. Colquhoun, T. Nagy, S.G. Evans, C. Ayles/掲載誌: Geomorphology 114, 601-613/タイトル: An examination of controls on debris flow mobility: Evidence from coastal British Columbia	
⑤ (3419)	・既往研究を引用しつつ、大規模な雪崩に対して森林がほとんど影響しないことを説明. ・雪崩の発生頻度が高いほど、森林を構成する樹種が増えることを説明.	2.3 節第一段落 Fig. 2
	発表年: 2009/著者: Peter Bebi, Dominik Kulakowski, Christian Rixen /掲載誌: Forest Ecology and Management 257, 1883-1892/タイトル: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management	
⑥ (3420)	・ Fig. 2 とそれに関連する記述（非森林地での雪崩発生勾配に関する既往研究との比較）から、森林があることで雪崩の発生勾配が高くなっていることを説明. ・ Fig. 3 では、雪崩発生抑制効果の高かった常緑針葉樹 (Spruce) で、直径の小さな樹木からなる森林で雪崩が発生することが示されている. すなわち、樹木直径によって抑制効果が変わっている.	Fig. 2 Fig. 3
	発表年: 1993/著者: SCHNEEBELI, M.; MEYER-GRASS, M./掲載誌: Proceedings International Snow Science Workshop. Breckenridge, Colorado 4-8 Oct 1992: 176-181./タイトル: Avalanche starting zones below the timber line structure of forest	

問 08-12	地種（裸・草・森）の違いは土砂流出防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>地種と土砂流出防止との関係は土砂の発生、移動にかかわる問題である。土砂発生場としての 0 次谷等の小斜面スケールでは森林が他の地種と比較して高い抑制機能を有することは多くの既往研究成果が示しているが、土砂流出に大きく関わる移動場まで含めた流域スケールの面からの研究成果は殆ど存在しないため、今後検討すべき課題である（根拠①）。なおこの課題は本問 8-12～問 8-15 までの全ての問いに共通する課題である。</p> <p>以上述べたように、流域スケールにおいて地種の違いが土砂流出に与える影響について明らかにした研究成果は殆ど存在しないが、着目すべき数少ない研究成果として、難波・川口（1965）によるもの、矢部（2003）によるものがあげられる（根拠②，③）。難波・川口（1965）は北海道を除く全国の面積 100km² 以上の流域を対象にダム堆砂量と森林面積率の関係について入念に検討した結果、森林面積率と堆砂量には負の相関が認められることを指摘している（根拠②）。また矢部（2003）は東京大学愛知演習林の流域(88.5ha)を対象に、61 年間における森林回復による裸地面積率の減少によって流出土砂量がおおよそ 1/3 になることを報告している（根拠③）。以上の 2 つの研究成果は、森林が他の地種と比較して高い土砂流出防止機能を有することを実証的に明らかにしたものである。</p> <p>近年の代表的成果としては、恩田らのグループによる一連の研究成果が挙げられる。恩田らの一連の研究は、小斜面スケールから流域面積数 ha 以下の小流域を対象に、溪流の浮遊土砂の起源や、森林管理状態等の違いが流出土砂量に与える影響を主として理学的観点から明らかにしてきているものである（根拠④）。今後はこれらの研究成果を発展させ、斜面および小流域から大流域までの様々な空間スケールに対して人工林の管理を含めて森林が土砂流出に与える影響を検討していくことが重要であると考えられる。その意味において難波・川口(1965)を越える研究成果は未だ存在していない。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (92)	<ul style="list-style-type: none"> 森林斜面で起こっている現象を流域スケールの面から捉える重要性を指摘。 土砂発生要因の 1 つである土壌侵食の場は、斜面、溪流、0 次谷などに区分され、それぞれの侵食の「場」から溪流へ流入する結節点の把握が重要となることを指摘。 	<p>図-1, 図-4 小節：森林斜面から流域スケールの視点へ、p.13-14</p>
発表年：2008／著者：五味高志／掲載誌：森林科学 47, p.10-14／タイトル：II 章 土壌侵食と森林 ―森林斜面から流域の視点へ―		
② (5498)	<ul style="list-style-type: none"> 北海道を除く全国の流域面積 100km² 以上の 22 流域のダム堆砂量のデータを用いて地形、降水量、植生が土砂流出量に与える影響を検討。 大流域からの土砂流出量を規定する主要因は起伏量、年降水量、森林面積率の 3 つであり、森林面積率と土砂流出量は負の相関関係にある。 	第 5 図

	発表年：1965／著者：難波宣士・川口武雄／掲載誌：林業試験場研究報告 173号, p.93-116 /タイトル：山地流域からの土砂流出に及ぼす諸因子と くに森林の影響	
③ (107)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風化花崗岩の東京大学愛知演習林白坂流域 (88.5ha) を対象に 1930 年から 1990 年までの流域土砂流出量を量水堰堤における観測堆砂量をもとに解析。 ・ 61 年間の森林回復による裸地面積率の減少 (約 10%から 3%) とともに流出土砂量が約 1/3 になることを提示。 	本文 4.3 流出土砂量と森林被覆の関係, p.9-10 図-10
	発表年：2003／著者：矢部和弘／掲載誌：砂防学会誌 Vol.56(4), p.92-101 /タイトル：風化花崗岩山地における流出土砂量と森林被覆との関係	
④ (5484)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 森林管理状態等の違う斜面からの土砂生産および溪流への土砂流出に与える影響を理学的見地から解明 	第 4 章, p.112～161
	発表年：2008／著者：恩田裕一 編／掲載誌：人工林荒廃と水・土砂流出の実態, pp.245／タイトル：4 人工林の荒廃で土砂が川に流れ込む	

問 08-13	優占樹種の違いは土砂流出防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>優占樹種の違いが土砂流出防止機能に与える影響については、森林の侵食防止機能、表層崩壊防止機能の両要素を統合して考える必要があるが、既往研究の殆どが単一の防止機能に焦点を絞って行われているため、両要素を統合した研究成果は殆ど存在しない。しかしながら、各防止機能に対して行われた研究成果からある程度の推定は可能である。</p> <p>各機能において優占樹種の違いが与える影響の詳細については、本 Q&A の該当する項を参照されたいが、以下に概略を記述する。侵食防止機能については、優占樹種の違いが土砂流出に与える影響は少なく、リターおよび下層植生の影響が大きい（根拠①）。ただしヒノキ人工林の場合、スギ、カラマツ等の他の人工林と比較して林冠閉鎖による下層植生の消失によって侵食防止機能が大きく低下する点に留意が必要である（根拠②）。表層崩壊防止機能は、樹木の根系の土質強度補強効果によって発揮されていることから、優占樹種の違いが土質強度補強効果に与える影響の観点からの検討が必要となる。この点について北原を中心とする研究グループは詳細な調査結果に基づき、ケヤキが他の樹種の中でも群を抜いて土質強度補強効果が高く、アカマツ、カラマツ、トドマツが他の樹種（スギ、ヒノキを含む）と比較して根系の土質強度補強効果が低いことを報告している（根拠③）。以上の各機能における研究成果を極めて単純に捉えた場合、ケヤキを優占樹種とする林分が高い土砂流出防止機能を有していることになる。</p> <p>しかしながら、数百年単位の時間スケールで考えた場合、表面侵食機能が低下した林分では表層土の発達が見込めないため、表層崩壊は発生しにくく、逆に表層崩壊防止機能が高い林分では、表層土の発達によって表層崩壊が発生することになる。この点について谷(2016)は既往研究成果をもとに、両機能を統合して考えた場合、はげ山と比較して森林からの土砂流出量は侵食防止機能のみを想定した 1/1000 から 1/10 程度になることを指摘している（根拠④）。</p> <p>今後の課題としては時間スケールの違い（優占樹種等の違いを含めて）が土砂流出防止に与える影響について検討していくことが必要であろう。なおこの課題は問 8-12～8-15 全てに共通する課題である。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5422)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落葉による被覆量の違いが流出土砂量に及ぼす影響を調べるために、人工降雨装置と小型ライシメーター（幅 0.5m、長さ 1.5m、深さ 0.5m）による実験を実施。 ・ 樹種別には顕著な差はないが、被覆量の違いは大きく、0.2～0.4kg/m² 程度あれば土砂流出防止効果は顕著。 <p>発表年：1975／著者：村井宏・岩崎勇作／掲載誌：林業試験場研究報告 274号、p.23-84 / タイトル：林地の水および土壌保全機能に関する研究（第1報）</p>	p.37-43 表 28, 図-22

<p>② (5456)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・同一斜面に存在する 40 年生の人工林を対象に土砂受箱による表土移動観測を実施。 ・ヒノキ林は他の樹種と比較して被覆率は年間を通じて常に低く、高い移動レートを示す。 ・ヒノキ林では堆積リターによる被覆効果は殆どないことから、下層植生維持のための光環境の改善が重要 	<p>図-3,図-4</p>
<p>発表年：2016／著者：渡邊仁志・井川原弘一・茂木靖和・横井秀一・平井敬三／掲載誌：日林誌 98, p.193-198 /タイトル：植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ, スギ, アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響</p>		
<p>③ (136)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・スギ, ヒノキ, マツ, 広葉樹 (ケヤキを含む 15 種) を対象に水平根の引き抜き試験を実施 ・樹種による明確な差がある。 ・ケヤキが最も引き抜き抵抗が高く、マツ類が低い。スギ, ヒノキはケヤキには劣るものの、他の広葉樹と比較して同程度もしくはそれ以上の引き抜き抵抗を示す。 	<p>全文に記載</p>
<p>発表年：2000／著者：北原曜／掲載誌：水利科学 311 号, p.11-37／タイトル：森林根系の崩壊防止機能</p>		
<p>④ (5485)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・森林からの土砂流出について、既往研究成果から考察。 ・土砂流出量は土粒子生成速度によって規定される。 ・数 100 年単位の長期時間スケールでは森林からの土砂流出量について森林が侵食および表層崩壊に与える影響を統合して考えることの重要性を指摘。 	<p>p.163-173 にかけて記載</p>
<p>発表年：2016／著者：谷誠／掲載誌：水と土と森の科学, pp.243 京都大学学術出版会(2016)／タイトル：3-4 土壌層の発達・崩壊と樹木根のはたらき</p>		

問 08-14	林相構造（単・複）の違いは土砂流出防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>林相構造の違いが土砂流出防止機能の発揮に与える影響については、森林の侵食防止機能、表層崩壊防止機能の両要素を統合して考える必要があるが、既往研究の殆どが単一の機能に焦点を絞って行われているため、両要素を統合した研究成果は殆ど存在しない。しかしながら、各機能に対して行われた研究成果を基に推定すると、複相林のほうが単相林と比較して土砂流出防止機能が高いと推察される。以下に根拠を示す。</p> <p>各機能における林相構造の違いが与える影響の詳細については、本 Q&A の該当する項を参照されたいが、以下に概略を記述する。侵食防止機能については、上層の林相構造の違いが土砂流出に与える影響は少なく、リターおよび下層植生の影響が大きい（根拠①）。従って表面侵食防止に影響を与える要因は林相構造（単・複）の違いというよりも、樹冠開空度の違いに代表される林内の光環境の違いによるものである。特にヒノキ人工林の場合は適期の間伐による光環境の改善が重要である（根拠②）。表層崩壊防止機能は、樹木の根系の発達程度が大きく寄与しており、林齢および上層木の蓄積と大きく関連している（根拠③）。これを林相構造の違いからみた場合、複層林においては、常に一定以上の林齢の上層木が存在していることになる。従って、崩壊・非崩壊のデータ解析によって実証的に明示された研究成果は存在しないものの、単層林と比較して表層崩壊防止機能が高いことが推察される。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5422)	<ul style="list-style-type: none"> ・落葉による被覆量の違いが流出土砂量に及ぼす影響を調べるために、人工降雨装置と小型ライシメーター（幅 0.5m、長さ 1.5m、深さ 0.5m）による実験を実施。 ・樹種別には顕著な差はないが、被覆量の違いは大きく、0.2~0.4kg/m² 程度あれば土砂流出防止効果は顕著。 	<p>p.37-43 表 28, 図-22</p> <p>発表年：1975／著者：村井宏・岩崎勇作／掲載誌：林業試験場研究報告 274号, p.23-84 /タイトル：林地の水および土壌保全機能に関する研究（第1報）</p>
② (5484)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ 22 年生の非間伐林分（2637 本/ha）の侵食量は間伐林分（1397 本/ha）と比較して約 10 倍の侵食量になる。 ・ヒノキ人工林では 10 年から 20 年前後の適期の間伐の有無が侵食量に大きな影響を及ぼす。 	<p>表 4.4.4, 図 4.4.5 p.140</p> <p>発表年：2008／著者：恩田裕一 編／掲載誌：人工林荒廃と水・土砂流出の実態, pp.245, (2008) 岩波書店／タイトル：4 人工林の荒廃で土砂が川に流れ込む</p>
③ (5434)	<ul style="list-style-type: none"> ・1958 年狩野川台風による崩壊地調査を伊豆半島全域を対象に実施。推計値として伊豆半島全体で約 4000 箇所、500ha の山地崩壊が発生。 ・幼令林地・灌木地・草地の崩壊が多く、蓄積の多 	<p>本文 p.116</p>

	<p>い美林では崩壊が少ない。 ・森林は年齢級の増加とともに山地崩壊防止機能が 増大。</p>	
<p>発表年：1959／著者：川口武雄・難波宣士・滝口喜代志・河野良治・岸岡 孝／掲載誌：林業試験場研究報告 117 号, p.83-120 (1959)／タイトル： 昭和 33 年伊豆水害の山地の崩壊, 土石流出とその防止対策</p>		

問 08-15	<p>齢級の違いは土砂流出防止機能の発揮にどのような影響を与えるか</p>	
答	<p>齢級の違いが土砂流出防止に与える影響については、森林の侵食防止機能、表層崩壊防止機能の両要素を統合して考える必要があるが、既往研究の殆どが単一の各機能に焦点を絞って行われているため、両要素を統合した研究成果は殆ど存在しない。しかしながら、各機能に対して行われた研究成果から、壮・老齢林のほうが若齢林と比較して土砂流出防止機能が高いことが示される。以下に根拠を示す。</p> <p>各機能における林相構造の違いが与える影響の詳細については、本 Q&A の該当する項を参照されたいが、以下に概略を記述する。侵食防止機能については、上層の林相構造の違いが土砂流出に与える影響は少なく、リターおよび下層植生の影響が大きい（根拠①）。従って表面侵食防止に影響を与える要因は齢級の違いというよりも、樹冠開空度の違いに代表される光環境の違いが大きい。特にヒノキ人工林の場合は適期の間伐による光環境の改善が重要である（根拠②）。表層崩壊防止機能は、樹木の根系の発達程度が大きく寄与しており、これは林齢および上層木の蓄積と大きく関連している（根拠③）。これを齢級の違いからみた場合、壮・老齢林は若齢林と比較して根系が発達しており、表層崩壊防止機能が高い。これについては各齢級における樹木根系の引き抜き試験、崩壊・非崩壊のデータ解析によって実証的に明示された研究成果が数多く存在していることから明らかである（根拠④）。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5486)	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ 40cm, 幅 20cm, 深さ 15cm の実験箱を用いて野外, 人工降雨降雨装置による室内実験を実施。 ・室内, 野外とも降雨による雨滴侵食量が 7 割以上, 地表流に起因する土砂流出量が約 2 割程度を示す。 ・野外実験では年流出土砂量の半分以上が冬季に生じている (土壌の凍結融解作用)。 ・落葉による効果は, 雨滴侵食防止, 地表水流下エネルギーの減少, 冬季の凍結・融解防止効果があり最も有効に働く。落葉被覆度 90% では雨滴侵食は殆ど発生しない。 ・針葉樹, 広葉樹の違いは顕著には確認されない。 <p>発表年：1957／著者：川口武雄・滝口喜代志／掲載誌：林業試験場研究報告 95 号, p.91-118 / タイトル：地被物の侵食防止機能に関する実験</p>	本文 p.118
② (5484)	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒノキ 22 年生の非間伐林分 (2637 本/ha) の侵食量は間伐林分 (1397 本/ha) と比較して約 10 倍の侵食量になる。 ・ヒノキ人工林では 10 年から 20 年前後の適期の間伐の有無が侵食量に大きな影響を及ぼす。 <p>発表年：2008／著者：恩田裕一 編／掲載誌：人工林荒廃と水・土砂流出の実態, pp.245, 岩波書店／タイトル：4 人工林の荒廃で土砂が川に流れ込む</p>	表 4.4.4, 図 4.4.5 p.140

<p>③ (5434)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1958年狩野川台風による崩壊地調査を伊豆半島全域を対象に実施。推計値として伊豆半島全体で約4000箇所、500haの山地崩壊が発生。 ・幼令林地・灌木地・草地の崩壊が多く、蓄積の多い美林では崩壊が少ない。 ・森林は年齢級の増加とともに山地崩壊防止機能が増大。 	<p>本文 p.116</p>
<p>発表年：1959／著者：川口武雄・難波宣士・滝口喜代志・河野良治・岸岡孝／掲載誌：林業試験場研究報告 117号, p.83-120 (1959)／タイトル：森林根系の崩壊防止機能</p>		
<p>④ (5472)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・樹木の根による土質強度補強効果は数 kPa に達し、極めて高い。 ・スギ林を対象に伐採後の経過年数の異なる根の引き抜き試験を実施した事例から引き抜き抵抗力（単位 kgf）は伐採後 20 年で消失する。 ・秋田スギを対象に伐期の違いによる斜面安定性を評価した結果、長伐期施業が崩壊防止機能の面からは有利であることを指摘。 	<p>図-11, 図-12 表-3</p>
<p>発表年：2005／著者：阿部和時／掲載誌：日本緑化工学会誌 31(3), p.330-337／タイトル：森林の持つ斜面崩壊防止機能</p>		

問 08-16	地種（裸・草・森）の違いはその他自然災害（飛砂・防風・防潮等）防 止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>一定以上の幅のある森林が風下側の地上の風速を減少させることに関する研究蓄積があり、樹高に応じた風害防止機能があるとされる。また、森林は、津波や高潮の侵入を防ぐことはできないが、漂流物の移動を阻止して被害の拡大を防ぐ効果が重要な防潮機能として報告されている。</p> <p>（森林の防風機能） 林地上の風速は草地にくらべて風速が減少し（根拠①）、風速の減少範囲は樹帯幅樹高に規定される（根拠②など）。 農業の耕作地（根拠③）、牧野（根拠④、⑤）への防風効果の川下・川上側への影響の程度も明らかになっている。 海岸の森林の防風効果についても川下川上側への影響の程度が明らかになっている（根拠⑥）</p> <p>（森林の防潮機能） 防潮林の機能として大きいのは漂流物の移動阻止効果（根拠⑦など）であり、また、防潮堤の前後に防潮林があると跳波による施設の被害を免れる（根拠⑧など）などの効果がある。 防潮林は一定の幅が必要（根拠⑨など）である。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5487)	草地と比べて林地上の風速は大幅に減少する 発表年：1940／著者：Fons WL／掲載誌：Journal of Forestry 論文／タイトル：風速に対する森林の影響	481-486 ページ
② (5488)	森林の幅が樹高の 100-400 倍以上もある場合は、幅が樹高の 60 倍以下の森林に比べて、風下側の地表近くの風速減少範囲が広く及ぶ 発表年：1952／著者：佐藤敬二ら／掲載誌：科学試験研究報告 8 日本学術振興会／タイトル：山地防風林における防風効果について、耕地防風林に関する研究	全文
③ (5489)	北海道では水稻の防風効果は川上側樹高の 16 倍影響する 発表年：1955／著者：松井善喜、横山長蔵／掲載誌：林試北海道支業務特報／タイトル：風速に対する森林の影響	121-134 ページ
④ (5490)	牧草地への影響は福島では川下へ樹高の 20 倍程度である 発表年：1967／著者：檜山徳治／掲載誌：林業技術／タイトル：内陸防風林	23-26 ページ
⑤ (5491)	牧草地への影響は北海道で、風上に樹高の 5 倍、風下へ 15 倍及ぶ 発表年：1974／著者：豊田倫明／掲載誌：治山 18 (1)／タイトル：耕地防風林の気象緩和効果と牧草収量について	9-15 ページ

⑥ (5492)	海岸の林帯の防風効果は林縁から樹高の 30 倍程度	全文
	発表年：1974／著者：豊田倫明／掲載誌：治山 18 (1)／タイトル：耕地防風林の気象緩和効果と牧草収量について	
⑦ (5493)	漂流物の移動阻止効果が大きい。わずか数列のクロマツが大型の漁船の上陸を阻んだ	1-88 ページ
	発表年：1962／著者：中野秀章ほか／掲載誌：林試研報 140／タイトル：岩手宮城両県下、防潮林のチリ地震津波時における実態・効果と今後の在り方	
⑧ (5494)	防潮堤の前後に防潮林があると跳波による施設の被害を免れる事例紹介	全文
	発表年：1960／著者：藤村重任他／科学技術庁資源局 130／タイトル：伊勢湾台風における防潮林の効果について	
⑨ (5495)	防潮林が効果をあげるには 20 から 40 メートル以上の幅が必要	97-133 ページ
	発表年：1948／著者：四手井綱英他／掲載誌：林試集報 57／タイトル：昭和 21 年南海地震における和歌山県防潮林効果調査	

問 08-17	優占樹種の違いはその他自然災害（飛砂・防風・防潮等）防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>樹種による落葉の状態によって防風効果を比較した分析結果がある。森林の川下の風速の低下の程度を樹高との関係で計測した結果が報告されているが、落葉時の林帯ではその範囲が狭くなっている（根拠①、根拠②）</p> <p>落葉木の海岸防風林では着葉期と落葉期では風速によって防風効果がちかってくる。（根拠③）</p> <p>海岸防風林の樹種については、既存のクロマツの海岸林における優れた生育特性（根拠④）（根拠⑤）、沖縄のフクギ林の防風特性について調査結果（根拠⑥）があるが、同一地域で樹種を比較したデータはない。</p> <p>また、海岸防災・防潮林のクロマツ以外の樹種の導入試験がマツの材線虫病との関係で行われている（根拠⑦）が、クロマツを補完する防風機能の程度に関する情報はない。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (5496)	落葉時の林帯では防風効果は限定される。	53-74 ページ
② (5497)	落葉時の林帯では防風効果は限定される。	73-80 ページ
③ (5489)	北海道の海岸のカシワ林での測定では弱風時には着葉期は防風効果が少なく、強風時には着葉期は防風効果が高くなる。	603-604 ページ
④ (5490)	牧草地への影響は福島では川下へ樹高の 20 倍程度である	23-26 ページ
⑤ (5491)	牧草地への影響は北海道で、風上に樹高の 5 倍、風下へ 15 倍及ぶ	9-15 ページ
⑥ (5492)	海岸の林帯の防風効果は林縁から樹高の 30 倍程度	9-15 ページ
⑦ (5493)	漂流物の移動阻止効果が大きい。わずか数列のクロマツが大型の漁船の上陸を阻んだ	1-88 ページ

	発表年：1962／著者：中野秀章ほか／掲載誌：林試研報 140／タイトル：岩手宮城両県下、防潮林のチリ地震津波時における実態・効果と今後の在り方	
⑧ (5494)	防潮堤の前後に防潮林があると跳波による施設の被害を免れる事例紹介	
	発表年：1960／著者：藤村重任他／科学技術庁資源局 130／タイトル：伊勢湾台風における防潮林の効果について	
⑨ (5495)	防潮林が効果をあげるには20から40メートル以上の幅が必要	97-133 ページ
	発表年：1948／著者：四手井綱英他／掲載誌：林試集報 57／タイトル：昭和 21 年南海地震における和歌山県防潮林効果調査	

問 08-18	林相構造（単・複）の違いはその他自然災害（飛砂・防風・防潮等）防止機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	<p>海岸防災林のクロマツ林の複層林化の可能性について研究事例があり、複層林化した場合単層林に比べて塩分捕捉など補完的な効果を発揮する可能性が示されている。</p> <p>海岸部の防潮のために、古くからクロマツによる海岸林が形成されてきた。クロマツ林自体も塩分の影響を受け、汀線側に近いほどクロマツの成長は悪い。防風柵によりクロマツ林に入る塩分量は減少するとともに、汀線側内部のクロマツ林内の塩分量は減少がみられた（根拠①）。防風林帯の無い河口では上流側に 150m 以上にわたり塩分の影響を受けることが分かった。また、クロマツ林分の適切な除・間伐を前提条件に、クロマツ・照葉樹の複層・混交林化は十分可能（根拠②）で、クロマツ林分の補完的な塩分捕捉に貢献できるものと考えられた。</p> <p>沖縄地方の伝統的民家は周囲をフクギで囲んだフクギ屋敷林を持つものが多い。フクギ（福木、<i>Garcinia subelliptica</i>）は樹高 10m~20m の常緑高木の外来種である。フクギ屋敷林は、防風だけでなく、防潮、防砂、防火などにも効果があるとされる。那覇、宮城島の AMeDAS 観測局では、それぞれ最大瞬間風速 42.5 [m/s]、47.1 [m/s] を記録した際にこのフクギ屋敷林内の暴風時における最大瞬間風速は 11.6 [m/s] で、フクギ屋敷林の優れた防風効果が示唆された（根拠③）。</p> <p>防雪林の機能を発揮させるためには、捕雪する場所が必要である。そのため、疎植・小数列の横断構造が重要である（根拠④）。</p>	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (1033)	<ul style="list-style-type: none"> ・汀線側とクロマツ林内との塩分量を比較すると、クロマツ林内では顕著な低減が見られる。 	<p>表-7 1997 年度の高さ 2m における月ごとの塩分捕捉量 (mg/m²/hr) 及び、表-8 1999 年度の高さ 2m における月ごとの塩分捕捉量 (mg/m²/hr)</p> <p>発表年：2001／著者：今井辰雄他 3 名／掲載誌：福島県林業研究センター研究報告 (34), 29-43／タイトル：クロマツ海岸林の保育管理と防災効果</p>
② (1033)	<ul style="list-style-type: none"> ・タブノキ、モチノキ、トベラ、ネズミモチの 4 樹種の相対照度と地上部量の関係では相対照度が高いほど地上部量は大きく、また葉量、葉面積も大きくなる。適切な間伐等により下木の導入が可能となる。 	<p>図-7 各樹種毎の地上部量の増加量 (2 成長期)、図-8 各樹種毎の地上部量の増加量 (3 成長期) 及び、表-10 相対照度の違いによる葉数と葉面積</p> <p>発表年：2001／著者：今井辰雄他 3 名／掲載誌：福島県林業研究センター研究報告 (34), 29-43／タイトル：クロマツ海岸林の保育管理と防災効果</p>

<p>③ (1303)</p>	<p>・暴風時には風を防ぐ高い効果が認められる。</p>	<p>全文</p>
<p>発表年：2013／著者：宮崎ひろ志他 1 名／掲載誌：日本建築学会大会学術講演梗概集 41268／タイトル：フクギによる強風に対する防風効果と弱風に対する防風効果</p>		
<p>④ (1314)</p>	<p>・道路防雪林の植栽方法として、広い列間×広めの苗間が好ましいことが判明し、幅が 10m 程度の林帯では、疎植・3 列植えが採用されている。</p>	<p>図-3 疎植・3 列植え防雪林の模式図</p>
<p>発表年：2004／著者：斎藤新一郎／掲載誌：日本林学会北海道支部論文集 52 (2004): 109-111／タイトル：道路防雪林の横断構造の変遷について</p>		

問 08-19	齡級の違いはその他自然災害（飛砂・防風・防潮等）防止機能機能の発揮にどのような影響を与えるか	
答	樹木の倒伏を考慮した津波波高減衰率の林齢による変化を記述するモデルを提示した。結果として、林齢が高いほど津波の力の減衰率は高くなることを示している(根拠①)。	
根拠 (文献番号)	知見	データ等
① (1027)	<ul style="list-style-type: none"> ・津波の高さと、海岸林の林齢、津波の波高減衰率の関係において海岸林の林齢が高いほど波高減衰率が高いことを示した。 	<p>図-10 樹木の倒伏を考慮した津波波高減衰率の林齢に伴う変化(横軸:津波波高)</p> <p>発表年：2007／著者：／掲載誌：海岸工学論文集，第 54 巻，pp.1376-1380 ／タイトル：海岸林の幹直径の分布特性と津波による樹木倒伏率</p>