

令和4年度
森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす
効果等に関する検討調査

報 告 書

令和5年3月

林野庁治山課

目次

1. 業務概要	1
1.1 業務目的	1
1.2 業務数量	2
1.3 業務フロー	3
1.4 業務工程	4
2. 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査.....	5
2.1 森林整備の優先順の決め方.....	5
2.1.1 スギ林における森林解析	5
2.1.2 崩壊防止機能の評価方法	20
2.1.3 LYCS による森林の成長シミュレーション.....	20
2.1.4 目指すべき森林の崩壊防止機能のめやす.....	24
2.1.5 森林の崩壊防止機能の将来予測.....	25
2.2 森林整備手法の具体の検討.....	30
2.2.1 ガイドラインで使用する施業用語の定義.....	30
2.2.2 基本方針	31
2.2.3 崩壊防止機能を向上させる施業のポイント.....	34
2.2.4 整備目標のめやす	39
2.2.5 具体的な施業の計画の考え方	41
2.2.6 まとめー森林施業の計画と崩壊防止機能.....	48
2.3 現地調査（エリートツリーの根量調査）	49
2.3.1 エリートツリーの調査方法	49
2.3.2 調査箇所、調査木	51
2.3.3 調査結果	52
2.4 ガイドライン案の作成.....	56
3. 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業 務.....	57

3.1 表層崩壊防止機能に係る既往の研究成果の整理等.....	57
3.1.1 過年度までに収集された根系と崩壊に関わる研究.....	57
3.1.2 根系が発揮する表層崩壊防止機能.....	60
3.2 表層崩壊防止機能に係る解説資料（案）の作成.....	66
3.3 表層崩壊防止機能に係るパンフレットの作成.....	67
3.3.1 パンフレットの作成	67
3.3.1 パンフレットの送付	67
4. 検討委員会の開催.....	68
5. 報告書のとりまとめ.....	68

1. 業務概要

1.1 業務目的

これまで森林と表層崩壊の関係については、森林が崩壊箇所数や崩壊頻度、崩壊面積を減少させていることが統計的に証明されているものの、表層崩壊防止機能と森林整備との関係については研究事例が少なく、崩壊防止機能を高めるための森林整備手法の確立までには至っていない。

表層崩壊防止機能と本数調整伐等の森林整備の関係については、伐採された樹木の根の腐朽による根の引き抜き抵抗力の低下や本数調整伐による根系の成長量の増加などの研究は行われているが、十分な知見は得られていない状況にある。

一方、水土保持機能が低下した過密な人工林等を対象に治山事業による森林整備を進めているが、近年、表層崩壊に伴う流木が全国各地で発生しており、平成 29 年に九州北部で発生した豪雨災害では人工林において大きな被害が発生している。

このような被害を軽減するため、特に 0 次谷や山地災害危険地区等、山腹崩壊の発生するおそれの高い箇所においては、事前防災の観点から、治山事業により表層崩壊防止機能や土砂流出防止機能等を高める森林整備を積極的に行っていく必要がある。

このため、樹木根系による表層崩壊防止機能に関する調査を行い、早生樹等の活用など最新の造林技術の導入等についても視野に入れた表層崩壊防止機能に着目した森林整備手法について検討を行い、治山事業による森林の水土保持機能を高める手法を検討する。

業務名：令和 4 年度 森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査

契約期間：令和 4 年 6 月 24 日より令和 5 年 3 月 17 日まで

発注者：林野庁森林整備部治山課

〒100-8952 東京都千代田区霞が関 1-2-1

TEL：03-6744-2309

監督職員：後藤 寿也 専門官

受注者：国土防災技術株式会社

〒330-0074 さいたま市浦和区北浦和 2-12-11 (代表)

TEL：048-833-0422

管理技術者：大野 亮一

照査技術者：田中 賢治

担当技術者：佐藤 亜貴夫 田中 淳

高田 香 尾崎 智香

加藤 昭広

1.2 業務数量

業務数量一覧を表 1.1 に示す。

表 1.1 業務数量一覧

項目		数量	仕様書の対応項目番号	報告書対応目次
(1) 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査	①森林整備の優先順の決め方	1 式	4.(1)①	2.1
	②森林整備手法の具体の検討	1 式	4.(1)②	2.2
	③現地調査	1 式	4.(1)③	2.3
	④ガイドライン案の作成	1 式	4.(1)④	2.4
(2) 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業務	①表層崩壊防止機能に係る既往の研究成果の整理等	1 式	4.(2)①	3.1
	②表層崩壊防止機能に係る解説資料(案)の作成	1 式	4.(2)②	3.2
	③表層崩壊防止機能に係るパンフレットの作成	1 式	4.(2)③	3.3
(3) 検討委員会の開催	4名の有識者からなる検討委員会を開催する。	3 回	4.(3)	4.
(4) 報告書のとりまとめ	(1)(2)及び(3)について、報告書にとりまとめる。	1 式	4.(4)	5.

1.3 業務フロー

本業務における業務フローを図 1.1 に示す。

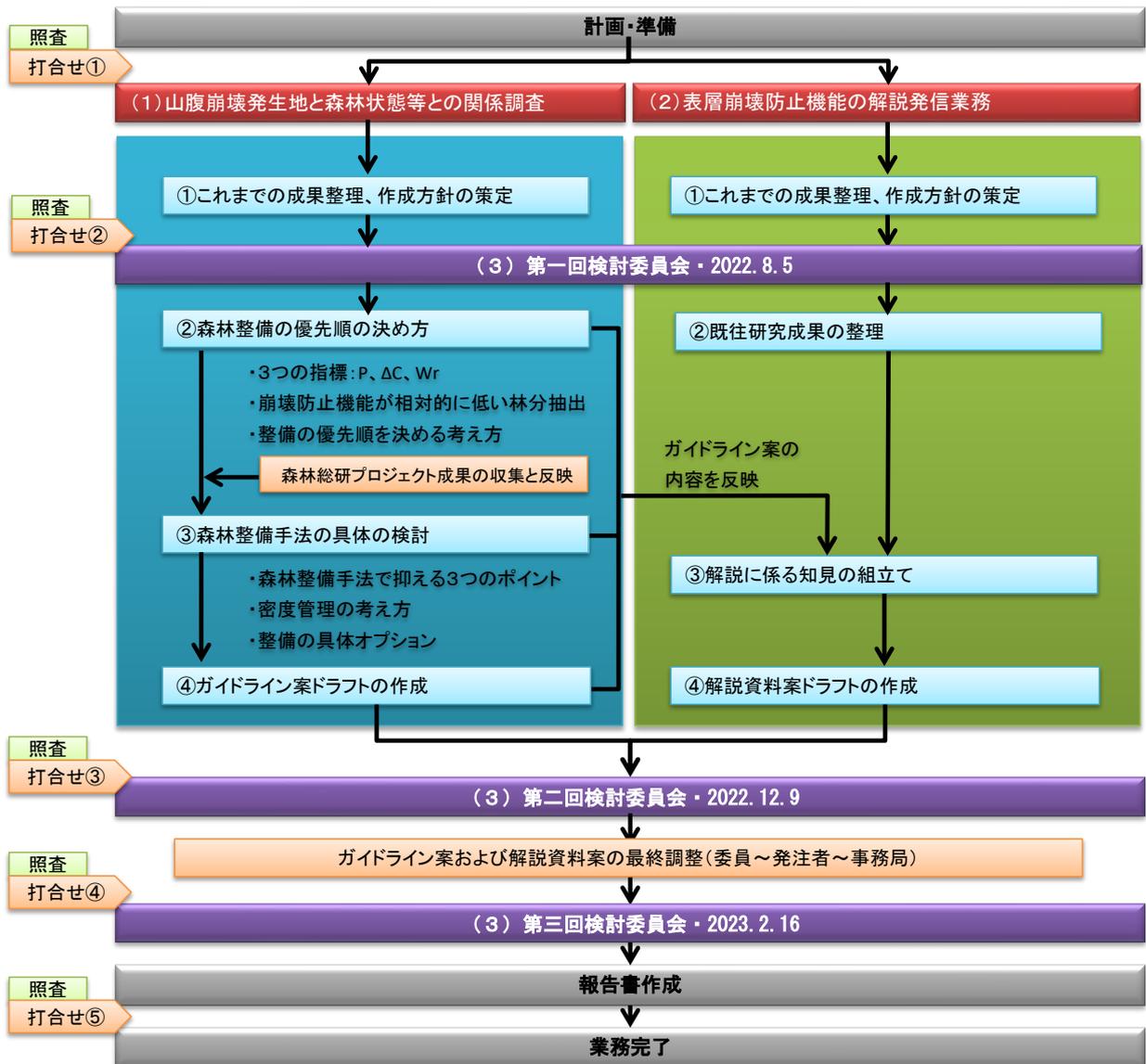


図 1.1 業務フロー

1.4 業務工程

本業務における工程を示す。

業務内容	令和4年							令和5年			備考	
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
(0) 計画準備		■	■									
(1) 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査												
① 森林整備の優先順の決め方			■	■	■	■						
② 森林整備の具体の検討					■	■	■					
③ 現地調査					■	■	■					
④ ガイドライン案の作成					■	■	■	■	■			
(2) 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業務												
① 表層崩壊防止機能に係る既往の研究成果の整理等			■	■	■							
② 表層崩壊防止機能に係る解説資料(案)の作成					■	■	■	■	■			
③ 表層崩壊防止機能に係るパンフレットの作成								■	■	■		
						●						
(3) 検討委員会の開催			●			●		●		●		3回予定
(4) 報告書のとりまとめ								■	■	■		
打合せ・協議		●	●					●	●	●	●	5回以上

履行期限: 令和5年3月17日

2. 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査

本事業では、山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査として、以下 2.1～2.4 の 4 項目を実施する。

2.1 森林整備の優先順の決め方

【仕様書項目（1）①】

土砂崩壊防止機能の発揮が求められる林分について、地形条件、保全対象、山地災害発生の危険度等、複数の観点を総合的に勘案して当該機能が相対的に低い林分を抽出することにより、森林整備の優先順を設定する方法について検討する。

2.1.1 スギ林における森林解析

山腹崩壊と森林の関係について、おもにヒノキ林を中心に整理した。スギに関しては、高知国有林のデータを取り上げて、検討を行った。

林小班単位で、航空 LP データから点群、樹頂点抽出、立木密度、樹高測定、直径算出のながれで林分情報を特定し、崩壊と森林の関係を整理した。

(1) 施業前後の森林情報の比較

施業による森林の土砂崩壊防止機能への影響力を可視化するため、施業前後の各種データの差分値を算出し比較した。

(i) 解析対象となる林小班

対象の林小班は、以下の条件を満たす高知県安芸市、香美市及び大豊町に属する 56 か所の林小班とした。このうち、8 か所の林小班が崩壊地を含む。

- 施業前後の航空 LP データがある。
- 施業前の航空 LP データの点密度が解析に足る。
- 林小班の面積が 10ha 以上である。
- 施業前の航空 LP データ取得年と施業後の航空 LP データの取得年の間に森林施業が実施されている。

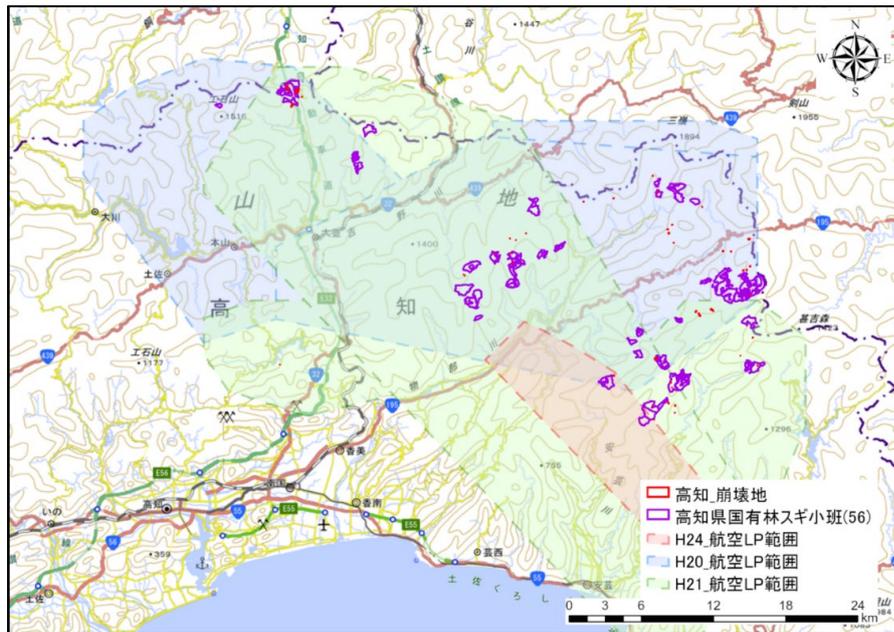


図 2.1 調査対象の 56 か所の林小班と崩壊地（紫色：林小班、赤色：崩壊地）

(ii) 施業履歴と LP データ

対象となったスギを主とする 56 か所の林小班の林齢は、33～68 年生である。壮齢林から高齢林の林小班のみで、平均林齢は 52 年生であった。

56 か所の林小班の施業履歴を表 2.1 に示す。なお、施業後経過年数は災害発生年である平成 30 年までに経過した年数とした。

施業前の航空 LP データは H20, H21, H24 と複数年度取得されている林小班も存在したことから、最新施業が実施された年度と最も近いデータを森林解析に使用した。(図 2.2)

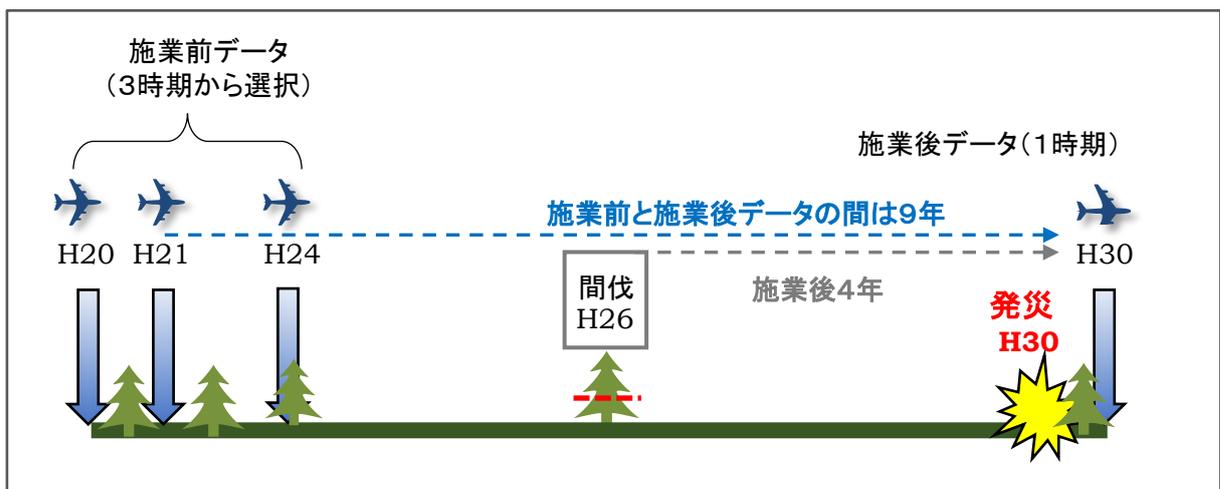


図 2.2 施業前後の LP データと施業後経過年の関係（イメージ）

表 2.1 調査対象の 56 か所の林小班の施業履歴

小班 No	林 齢	崩壊地の有無	施業履歴	施業後経過年	施業前 LP 取得年
1	49	有	H24 保育間伐/H29 主伐 1	1	H21
2	56	有	H23 本数調整伐/H29 間伐 2	1	H21
3	56	有	H22 保育間伐/H23 間伐 2/H26 間伐 2/H28 間伐 2	2	H20
4	44	有	H26 保育間伐	4	H21
5	56	有	H20 保育間伐/H21 保育間伐/H25 間伐 2/H26 間伐 2	4	H24
6	43	有	H23 本数調整伐	7	H20
7	68	有	H23 本数調整伐	7	H21
8	49	有	H21 保育間伐	9	H20
9	54	無	H23 保育間伐/H29 主伐 1	1	H24
10	39	無	H29 本数調整伐	1	H20
11	61	無	H29 間伐 2	1	H21
12	54	無	H20 保育間伐/H28 間伐 2/H29 植付	2	H20
13	42	無	H21 保育間伐/H28 間伐 2	2	H21
14	50	無	H28 間伐	2	H20
15	56	無	H23 間伐 2/H27 間伐/H28 保育間伐	2	H21
16	63	無	H28 保育間伐	2	H21
17	66	無	H27 間伐 2	3	H21
18	45	無	H27 保育間伐	3	H21
19	50	無	H26 間伐/H27 保育間伐	3	H20
20	54	無	H21 間伐 2/H23 保育間伐	3	H21
21	61	無	H21 間伐 2/H23 間伐 2/H25 間伐 2/H27 間伐 2	3	H20
22	61	無	H26 間伐/H27 保育間伐	3	H21
23	47	無	H24 間伐 2/H25 保育間伐/ H26 保育間伐	4	H21
24	52	無	H26 間伐	4	H20
25	60	無	H25 間伐/H26 間伐	4	H20
26	58	無	H26 間伐 2	4	H20
27	49	無	H22 間伐 2/H25 保育間伐	5	H21
28	48	無	H24 保育間伐/H25 保育間伐	5	H21
29	53	無	H25 保育間伐	5	H24

施業後 LP データは H30 計測のもの

小班 No	林 齢	崩壊地の有無	施業履歴	施業後経過年	施業前 LP 取得年
30	49	無	H24 間伐/H25 間伐 2	5	H20
31	43	無	H23 本数調整伐/H25 主伐 1	5	H20
32	68	無	H20 保育間伐/H25 間伐 2	5	H20
33	53	無	H25 間伐 2	5	H21
34	33	無	H25 保育間伐	5	H20
35	52	無	H23 間伐 2/H25 保育間伐	5	H21
36	53	無	H24 保育間伐	6	H21
37	42	無	H24 保育間伐	6	H21
38	55	無	H24 間伐	6	H20
39	51	無	H24 間伐	6	H20
40	50	無	H24 間伐	6	H20
41	51	無	H21 間伐 2/H23 間伐 2/H24 間伐	6	H20
42	65	無	H24 間伐	6	H20
43	44	無	H23 本数調整伐	7	H20
44	48	無	H23 本数調整伐	7	H20
45	49	無	H22 保育間伐/H23 保育間伐	7	H20
46	48	無	H23 保育間伐	7	H20
47	52	無	H23 保育間伐	7	H20
48	46	無	H23 間伐 2	7	H20
49	65	無	H22 保育間伐/H23 間伐	7	H21
50	52	無	H22 保育間伐	8	H20
51	52	無	H21 保育間伐/H22 保育間伐	8	H21
52	54	無	H21 保育間伐	9	H20
53	59	無	H21 保育間伐	9	H20
54	38	無	H21 保育間伐	9	H20
55	49	無	H20 保育間伐/H21 保育間伐	9	H20
56	54	無	H20 主伐/H21 保育間伐	9	H20

(iii) 樹高の計測方法

航空 LP 点群から樹高を抽出するための森林解析は、林小班全体（立木全数）を対象とはせず、以下に示す条件で標準地を設定してその範囲で樹高を計測した。

<崩壊地を含む 8 か所の林小班>

対象の林小班内の崩壊地周辺のスギ林に 20m×20m の範囲を 3 か所設定した。

<崩壊地を含まない 48 か所の林小班>

対象の林小班内のスギ林に 50m×50m の範囲を 1 か所設定した。



図 2.3 林小班内に設定した標準地の例（左：崩壊地あり、右：崩壊地なし）

(iv) 施業前後の差分値

表 2.1 に示す施業前 LP データ（各林小班で H20, H21, H24 のいずれか）と、H30 発災後に計測された H30LP データ、両者を使って立木密度、 ΔC 、 W_r について、（施業後—施業前）により差分値を算定した。

各林小班での差分値を図 2.4 に一覧で示す。

図 2.4 の図上に引いたピンク色破線は ΔC の差分値が -2 以下となった林小班である。つまり、施業により ΔC が 2 [kN/m²] 以上低下した林小班が、11 か所存在する。これら 11 か所の林小班の立木密度の差分値の平均は 452 本/ha となり、全 56 林小班の平均の 283 本/ha と比較し、大きな差分、つまり強度の伐採が加えられたことが分かった。

また、図上の緑色破線は ΔC が +2 以上となった林小班で、施業により ΔC が 2 [kN/m²] 以上上昇した林小班が 15 か所存在する。これら 15 か所の林小班の立木密度の差分値の平均は 167 本/ha となり、全 56 林小班の平均の 283 本/ha と比較し、小さな差分であることが分かった。

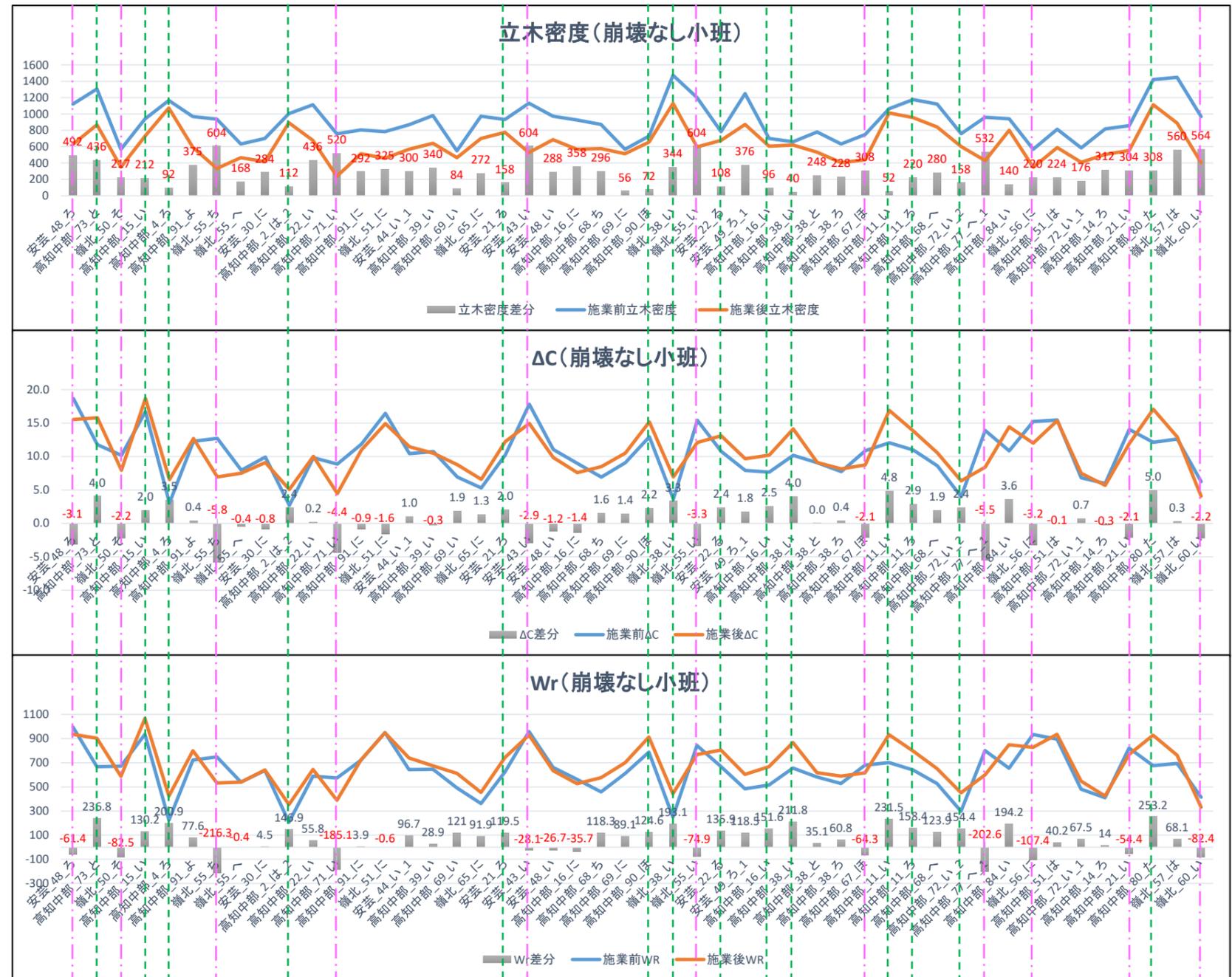
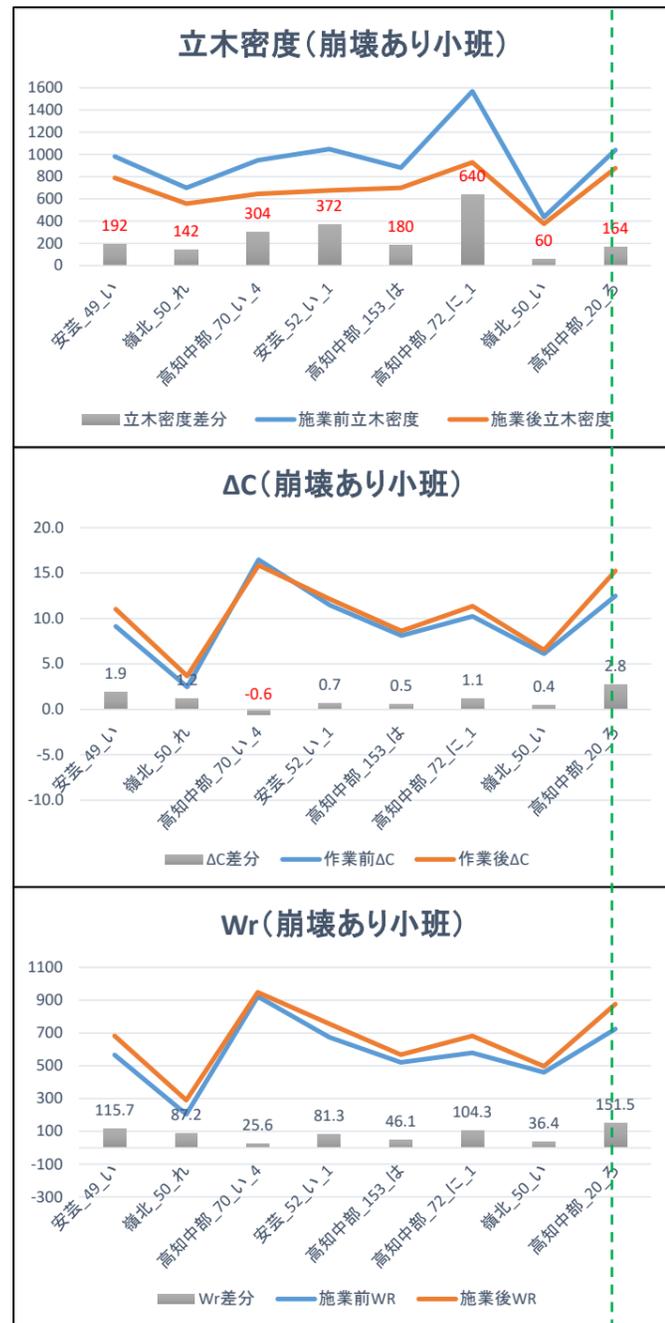


図 2.4 56か所の林小班の施業前後の差分値比較(立木密度とΔC、Wr)

(v) 散布図による検討（差分値）

図 2.4 の結果を踏まえ、より詳細な検証を行うため、差分値の散布図を作成し考察した。立木密度の差分と ΔC 、Wr 及び胸高直径の差分について、図 2.5～図 2.7 を作成した。

図 2.5～図 2.6 の 2 つの散布図はほぼ同じ傾向がみられ、立木密度の差分値が約 320 本/ha より高いと ΔC が低下する傾向、Wr では約 450 本/ha より高いと同様に低下する傾向がみられた。

このように散布図によるデータ分析についても、施業により密度が大きく低下すると、根系による断面抵抗力が低下しやすい傾向がみられた。

その一方で、崩壊の有無による立木密度の差分や ΔC の差分と Wr の差分の関係をみると、特段の傾向はみうけられない。むしろ、崩壊が発生しているすべての林小班は、 ΔC の差分と Wr の差分が正值（増加）していることから、 ΔC の差分と Wr の差分が負値（減少）であることが必ずしも崩壊に結びついているわけではない結果となった。

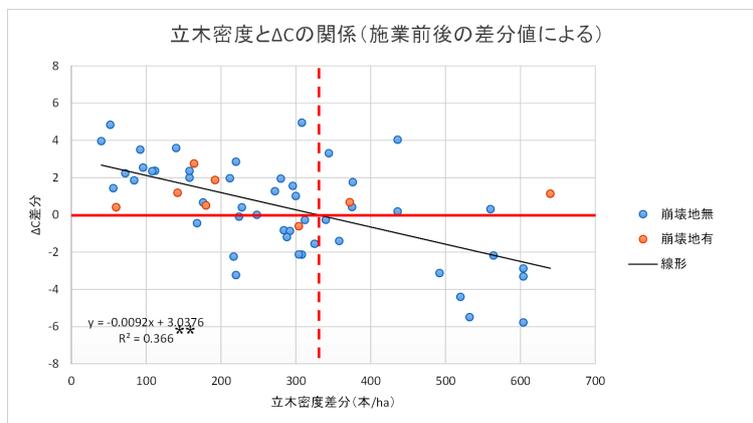


図 2.5 立木密度差分と ΔC 差分

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

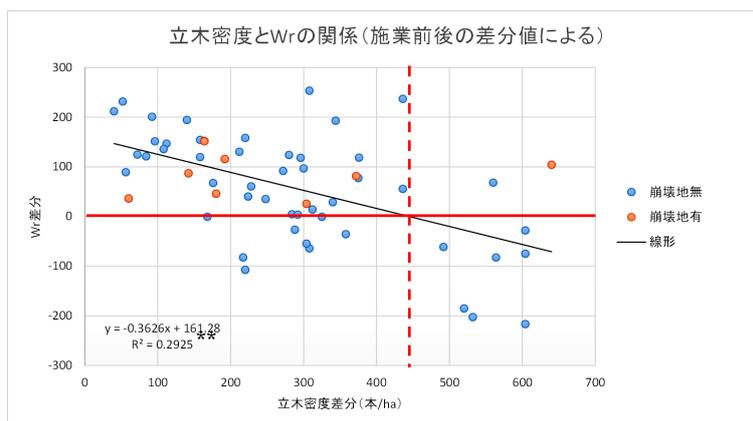


図 2.6 立木密度差分と Wr 差分

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

¹ 有意水準。統計上、ある事象が起こる確率が偶然とは考えにくい（有意である）と判断する基準となる確率。通常は 5%、厳密には 1%を用いる。

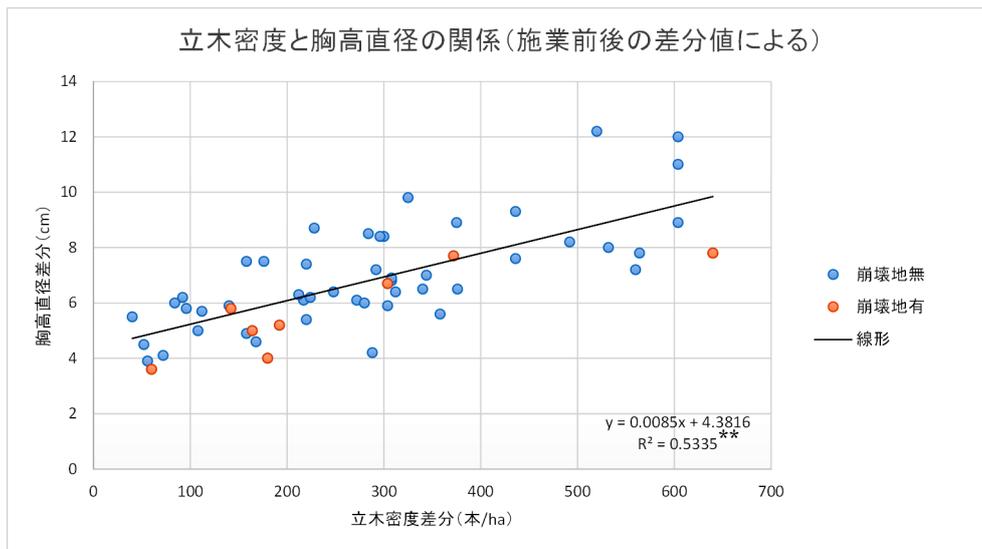


図 2.7 立木密度差分と胸高直径差分

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

図 2.7 は、施業前後の立木密度の差分と胸高直径の差分の関係で、 R^2 が 0.5335 と、比較的強い相関がでており、立木密度の差分が大きいほど、スギの成長（胸高直径の肥大）が促進されていることが分かった。

根系による断面抵抗力の指標である ΔC 及び根量 W_r の差分値が増加、もしくは減少した林小班的立木密度、胸高直径を抽出し表 2.2 に整理した。

表 2.2 ΔC と W_r の増減ごとの立木密度（林小班平均）

No	区分 (林小班数)	①施業後 立木密度 平均 (本/ha)	②施業前 立木密度 平均 (本/ha)	③①と② の変化率 (%)	④林齢 平均	⑤施業後 胸高直径 平均(cm)	⑥胸高 直径 差分平均 (cm)	⑦間伐
1	ΔC 増加 (34 箇所)	732	960	23.7	49	33.7	6.3	1 伐 3 残
2	ΔC 減少 (21 箇所)	491	866	43.2	57	39.7	7.6	2 伐 3 残
3	W_r 増加 (41 箇所)	701	938	25.3	51	34.5	6.4	1 伐 3 残
4	W_r 減少 (15 箇所)	468	875	46.5	56	40.2	7.9	2 伐 3 残

※ ΔC の区分については、1か所の林小班で差分値が0であったため、増加減少の合計が55か所の林小班となった。

表 2.2 では、 ΔC 及び W_r の両者共に、増加した林小班では施業前の立木密度は 950 本/ha 前後であるが、施業後は ΔC が増加した林小班で 732 本/ha、 W_r が増加した林小班で 701 本/ha となり、図 2.8 に示す ΔC 及び W_r の最も高くなる立木密度 800 本/ha 付近とおおむね近い値となった。

なお、本検証のスギ林は若齢林のデータがなく、壮齢林と高齢林のみで示された結果であることに留意する必要がある。

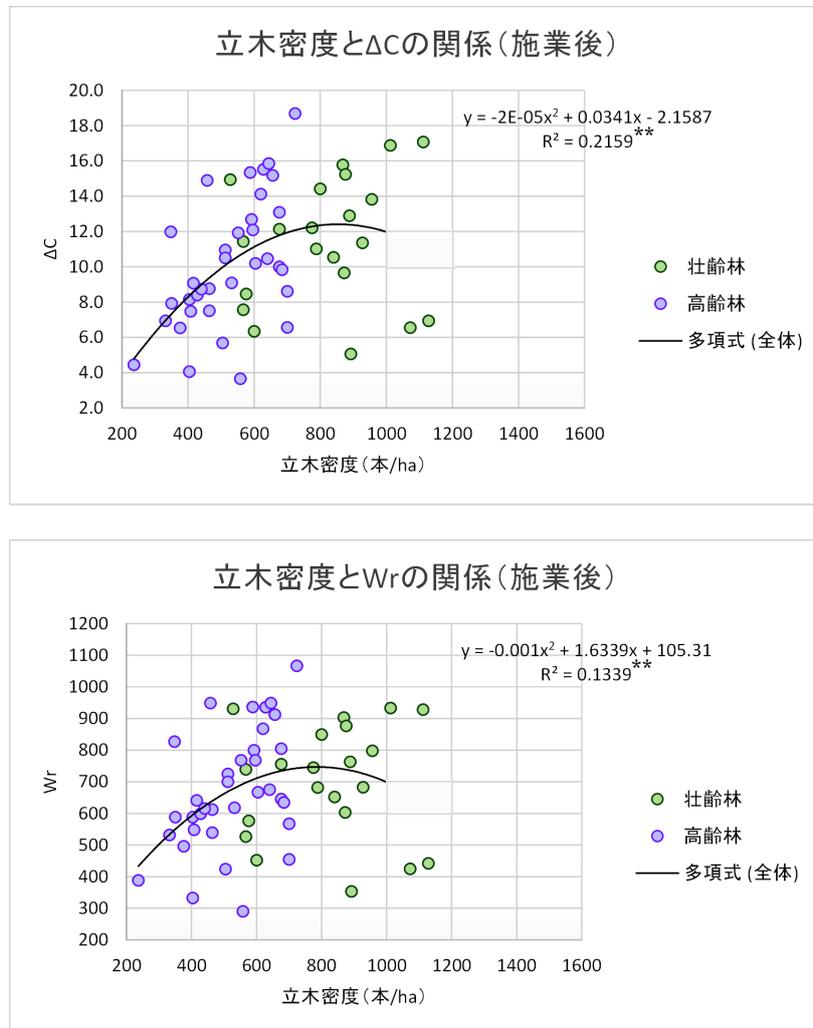


図 2.8 高知スギ林の立木密度と根系による断面抵抗力ΔCと根量 Wr (施業後)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

図 2.9 及び図 2.10 は、施業後の立木密度がどのレベルから、ΔCや Wr の差分が正值（崩壊防止力の指標が増加）に転ずるかを確認したものである。

ΔC (図 2.9) では施業後の立木密度が約 580 本/ha 以上からΔC差分が正值に転じ、施業後の立木密度が高いほど、抵抗力の増分は大きい。Wr では立木密度が約 480 本/ha 以上から差分値が正值に転じ、ΔCと同様の傾向がみられた。

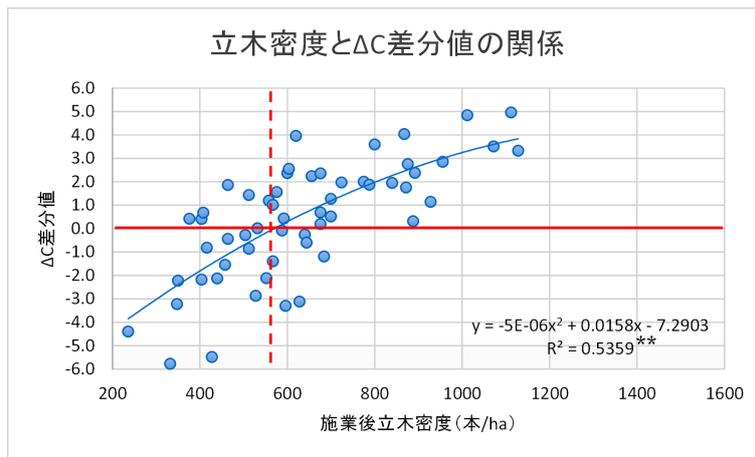


図 2.9 立木密度と ΔC 差分値

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

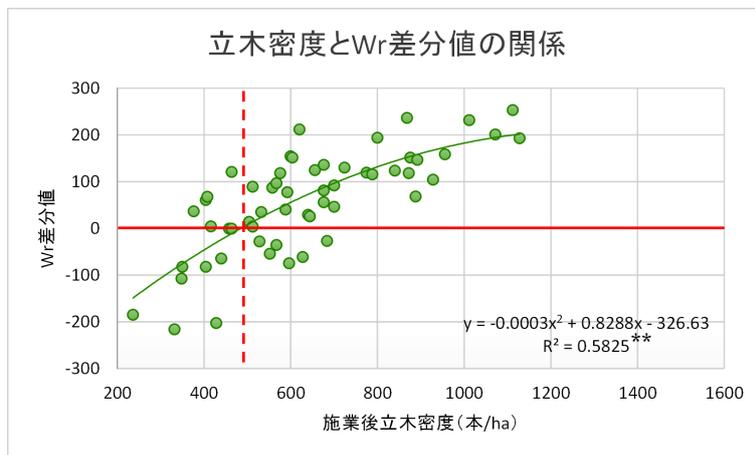


図 2.10 施業後立木密度と Wr 差分値

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

以上より、高知スギ国有林 56 か所の林小班について、施業前後の森林情報を比較した結果、以下のことが分かった。なお、各林小班での施業後経過年数は 1～9 年で、林小班により異なる。

- 崩壊防止力の指標（ ΔC 及び Wr ）がピークとなる立木密度は約 800 本/ha 前後。
- 施業後の立木密度が約 580 本/ha 以上確保された林小班は、 ΔC による断面抵抗力が向上している場合が多い。
- 施業後の立木密度が約 480 本/ha 以上確保された林小班は、 Wr による崩壊防止力が向上している場合が多い。
- 強度の伐採施業がなされた場合、伐採前の崩壊防止力まで回復していない林小班（ ΔC や Wr の差分が負値）が多かった。

(2) ΔC と W_r による森林解析

次に差分値ではなく ΔC 及び W_r の値そのものについて検討した。

(i) 解析対象となる林小班

高知中部に位置するスギ林のうち、30m×30m 範囲でスギ純林を確保できる 64 か所の林小班を選定し、解析対象とした。対象となった林小班の位置を図 2.11 に示す。

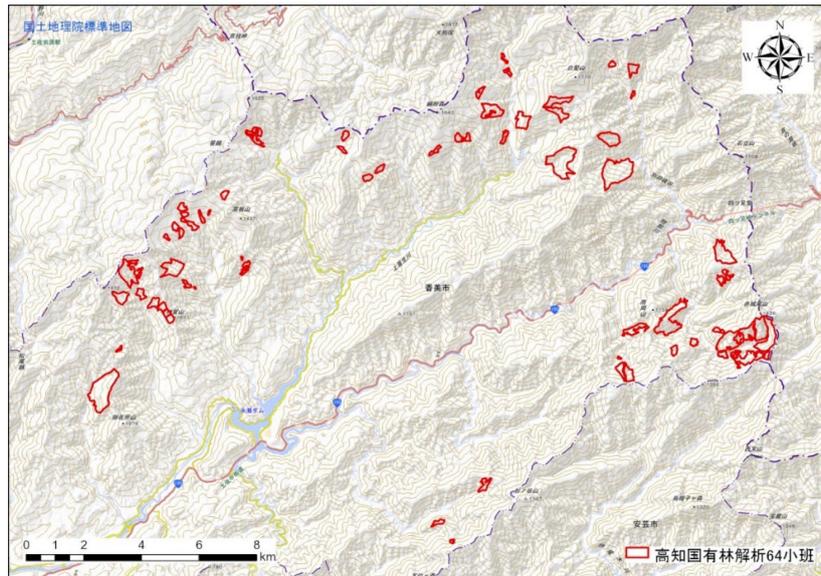


図 2.11 高知国有林における森林解析対象の林小班（高知中部 64 か所）

(ii) 樹高計測と胸高直径の算定

各林小班内で 30m×30m 範囲について、災害後の航空 LP データ（H30）を使い点群解析し、上層木の樹頂点の抽出及び立木密度を算出した。それらデータを基に、森林総合研究所「収量比数 R_y 計算プログラム」「四国国有林スギ」のパラメータを用いて、胸高直径を推定した。

以上より得られた立木密度、胸高直径を用いて各林小班の代表値となる ΔC 、 W_r を算定した。

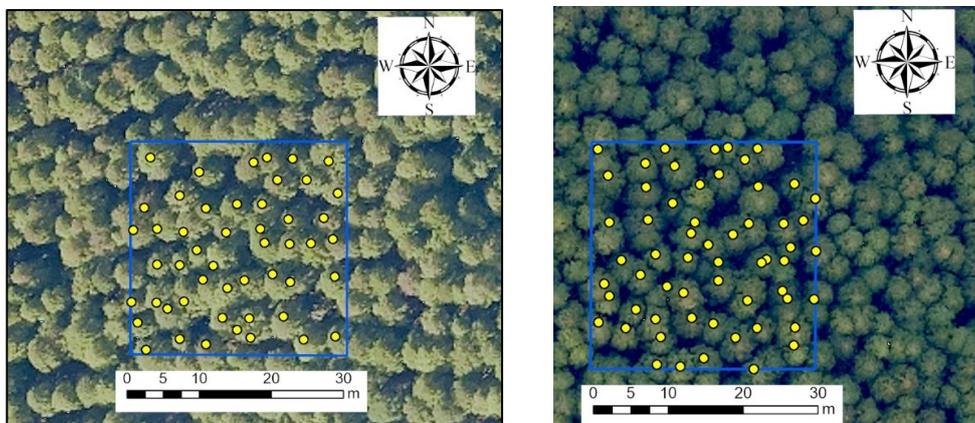


図 2.12 調査範囲の設定と樹頂点抽出例（左図：68-林班-ち、右図：72-林班-い-2）

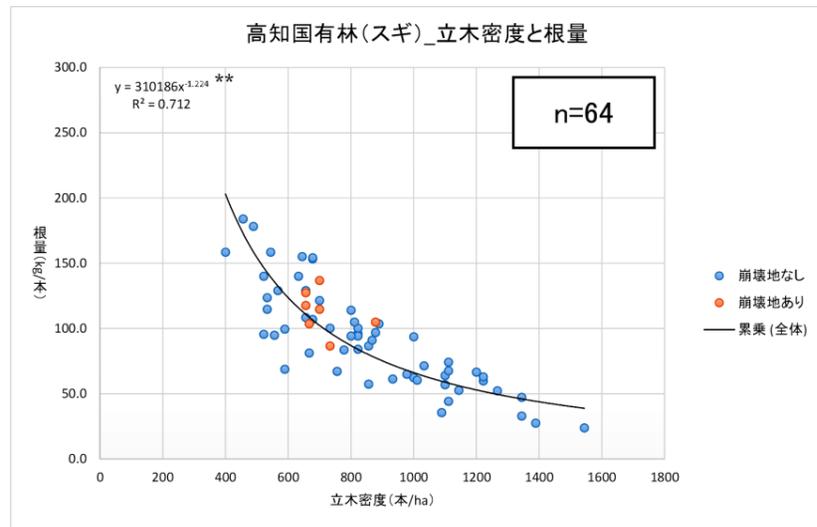


図 2.13 立木密度と根量の関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

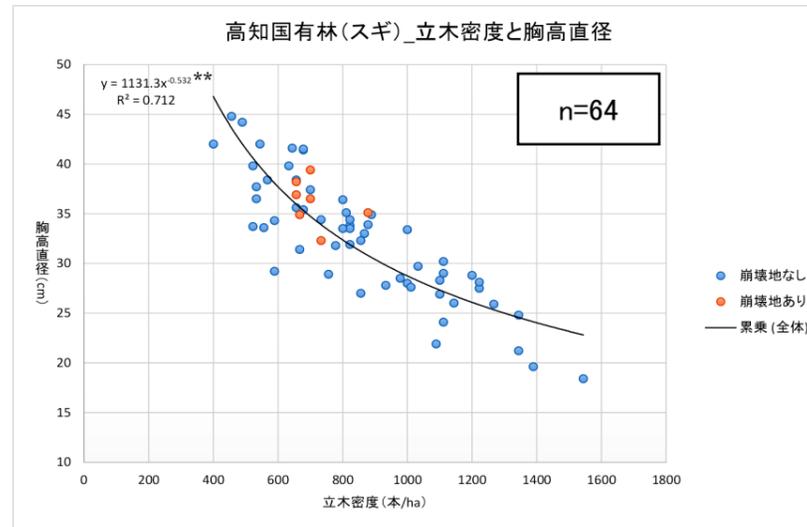


図 2.14 立木密度と胸高直径の関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

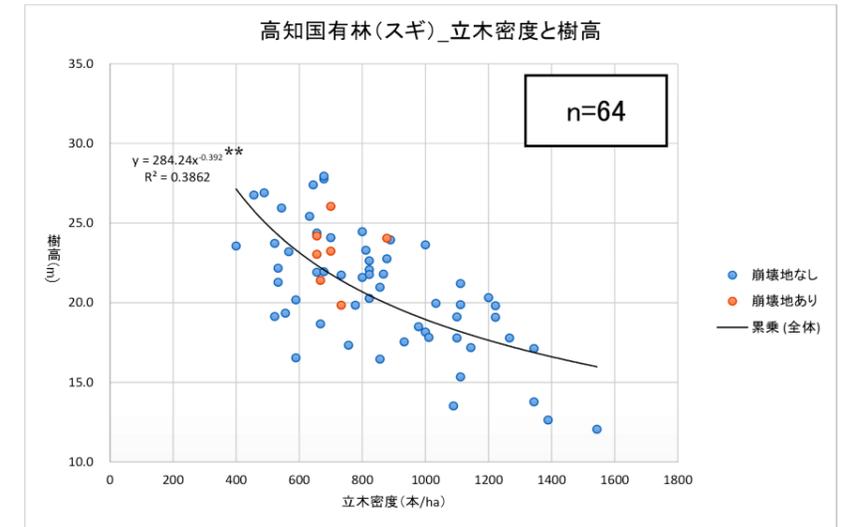


図 2.15 立木密度と樹高の関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

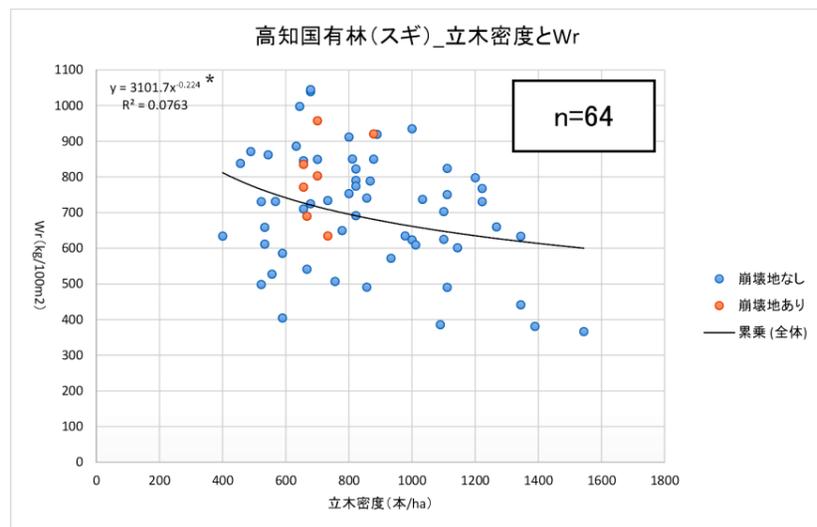


図 2.16 立木密度と Wr の関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

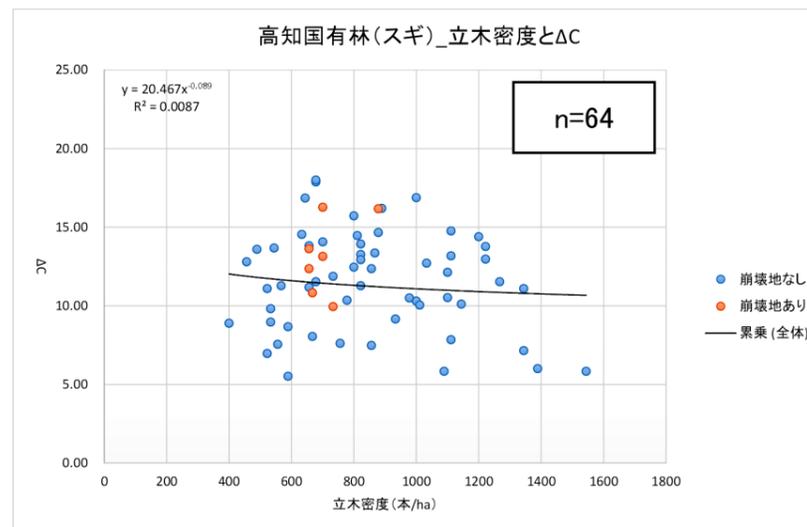


図 2.17 立木密度とΔCの関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

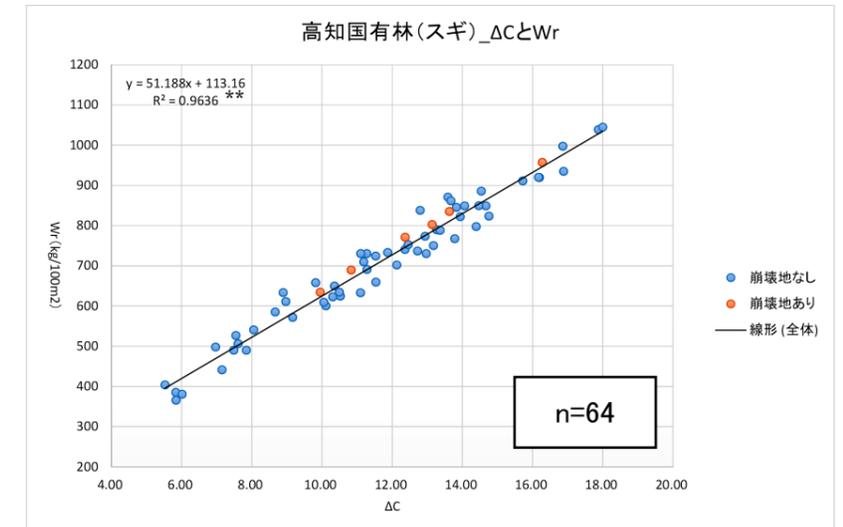


図 2.18 ΔCと Wr の関係

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

(iii) 立木密度とΔC、Wr の関係

図 2.13 に示すように、立木密度と根量[kg/本]には強い相関がみられた。根量[kg/本]は、胸高直径を基に算定されるため、図 2.14 の立木密度と胸高直径関係に強い相関がみられることに対応している。立木密度と樹高関係 (図 2.15) でも同様に、やや強い相関がみられた。

しかし、図 2.16 の立木密度と Wr[kg/100m²]及び図 2.17 の立木密度とΔCの関係は、ばらつきが大きく明瞭な傾向はみえにくい。Wr は 1 本あたりではなく、単位面積当たりの根量であり、立木密度と 1 本あたりの根量[kg/本]に強い相関がみられ、立木密度と根量 Wr[kg/100m²]でばらつきが大きくなるのは、1

本当たりの根量に立木密度の情報が加わり、単位面積当たりの根量 Wr が得られるためである。

また、図中のプロットは、崩壊の有無別に着色を変えているが、ここでも崩壊の有無による違いは特徴がみとれるものはない。

図 2.18 はΔCを横軸、Wr を縦軸としたものだが、両者は非常に強い相関がみられる。ΔCと Wr は同じ林分情報 (立木密度、胸高直径) に基づき算定されるためである。その詳細については第 I 編 3.5 に記載した。

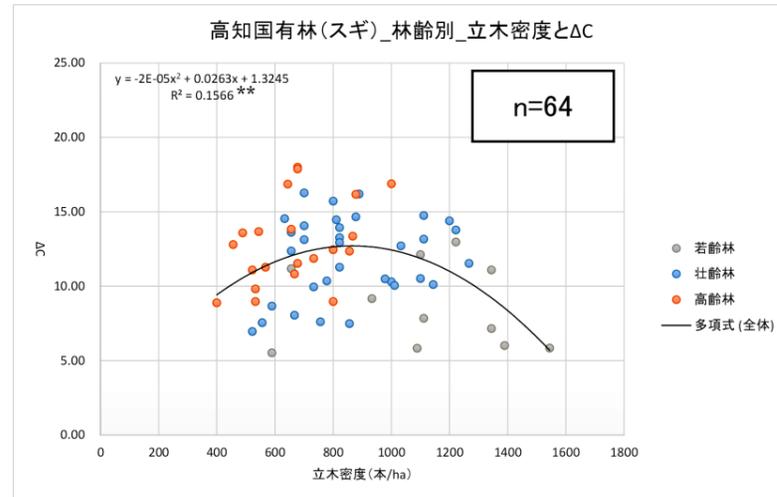


図 2.19 立木密度とΔCの関係 (林齢別)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

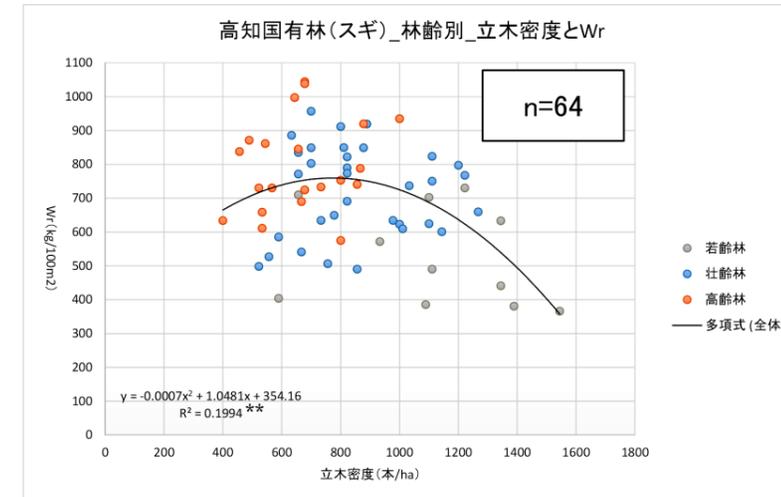


図 2.21 立木密度とWrの関係 (林齢別)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

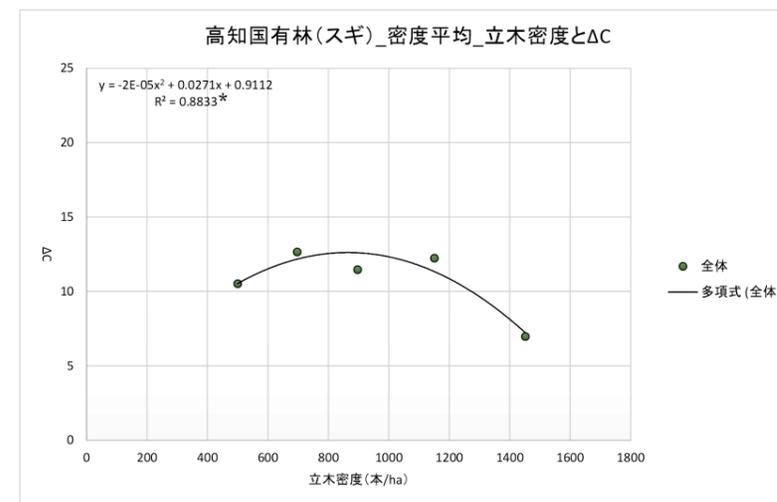


図 2.20 立木密度とΔCの関係 (立木密度平均)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

区分
立木密度 400-600 (本/ha)
立木密度 600-800 (本/ha)
立木密度 800-1000 (本/ha)
立木密度 1000-1200(本/ha)
立木密度 1200- (本/ha)

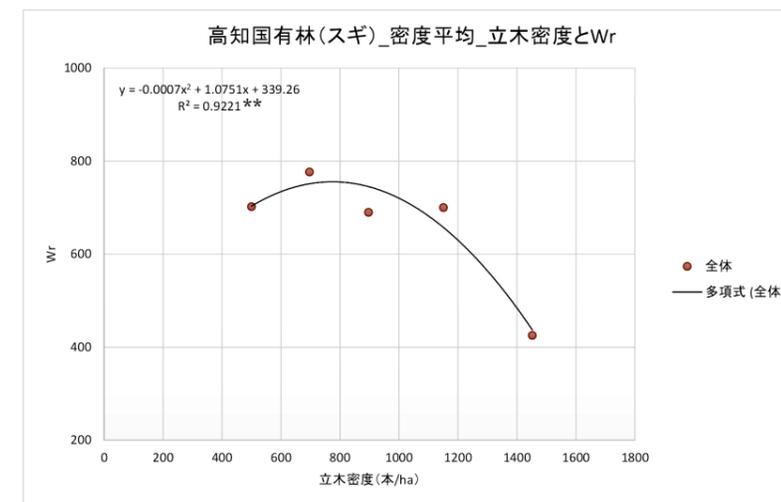


図 2.22 立木密度とWrの関係 (立木密度平均)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

林齢別に着色を変え、若齢林 (29年生以下)、壮齢林 (30~49年生)、高齢林 (50年生以上) 別にプロットを塗分けし、ΔC、Wr との関係を示したのが図 2.208、図 1.40 である。

立木密度を 200 本/ha 刻みで 5 段階に分け、各段階の平均値を示したものが図 2.20 と図 2.22 である。段階別平均値では、400~1,200 本/ha までの 4 プロットはほぼ横ばいだが、1,200 本/ha 以上のプロットのみ ΔC、Wr とともに小さな値となる。そのため近似曲線は累乗ではなく多項式近似としたが、この傾向は、北原らの研究で得られた図 2.23 と同様である。アーチのピークが ΔC、Wr の最大値と捉えると、ΔC で立木密度 800~1,000 本/ha、Wr は 800 本/ha 付近となるが、ばらつきが大きいことから確定判断に足るデータとはいえない。立木密度が 1200 本/ha 以上のプロットの林齢をみると、ほとんどが若齢林であることから、20 年生以下の林分で崩壊発生が多いという既往の研究報告と整合するデータであることがわかる。

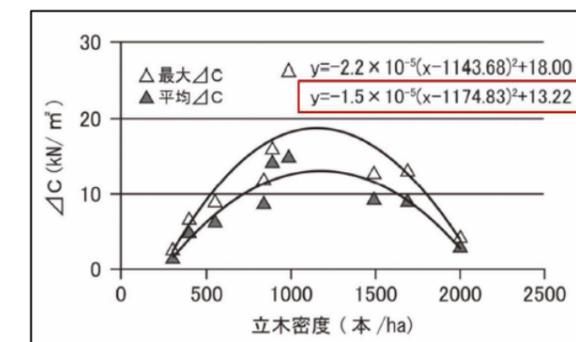


図 2.23 カラマツ林の平均、最大ΔCと立木密度の関係 (伴・北原ら 2011、文献番号 152)

(3) 崩壊防止機能が十分といえる ΔC

崩壊防止機能が高い森林を目指すために必要な立木密度のしきい値をどう設定できるか検討した。崩壊防止機能の指標として、 ΔC を用いた。

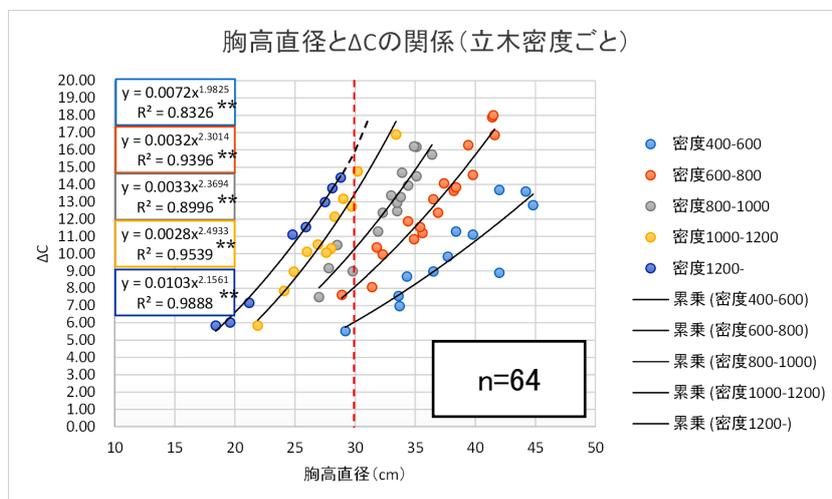


図 2.24 胸高直径と ΔC の関係 (立木密度ごと)

※**1%有意、*5%有意、無印：有意でない¹

図 2.24 は、胸高直径と ΔC の関係を立木密度別に着色したものである。立木密度は 200 本/ha 刻みで階区分し、それぞれ近似曲線を算定した。近似曲線の決定係数は高く 0.83~0.99 と強い相関がみられる。近似曲線は交わることなく層状に重なり、同じ胸高直径でも立木密度が違えば、 ΔC の値が異なる。これは ΔC が立木間中央で定義される指標だからである。

近似曲線に基づき胸高直径 15~50cm までの ΔC 散布図 (図 2.25) を作成した。

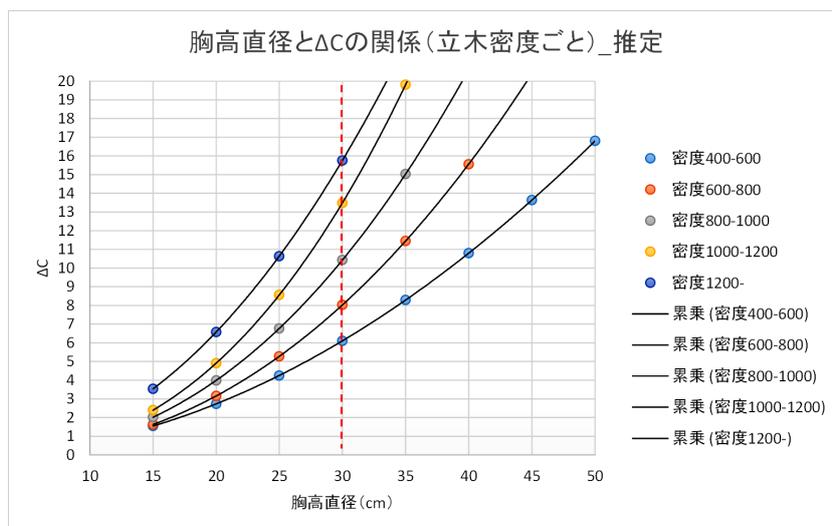
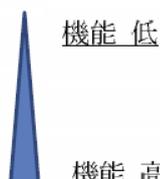


図 2.25 胸高直径と ΔC の関係 (立木密度ごと)_近似式による推定

崩壊防止機能が高い森林といえる立木密度を判断する基準として、「林野庁手引書（案）」を参考とし、P 値 0.8 以上となる立木密度を目標と考えた。

表 2.3 森林の土砂崩壊防止機能の判定表（林野庁手引書（案）より）

森林の土砂崩壊防止機能区分	点P	色区分
a	~0.3	赤
b	0.3~0.8	黄
c	0.8~1.3	黄緑
d	1.3以上	緑



評価点 P が 0.8 以上あれば、森林による崩壊防止機能が一定程度確保された森林とみなせる。

本検討の対象はスギ林であるため、手引きによる樹種 P1 の配点が 1.6、これと立木密度 P2 と胸高直径 P3 の組み合わせから評価される色区分を、表 2.4 に示す。表 2.4 より崩壊防止機能の目標の目安とする黄緑色以上となる胸高直径を判定した。

表 2.4 スギ林における立木密度と胸高直径の組み合わせ判定表（林野庁手引書（案））

			立木密度 [本/ha]				
			400-600	600-800	800-1600	1600-1800	1800-2000
指標 P1	胸高直径 cm	指標 P3	指標 P2				
			0.5	0.8	1.0	0.7	0.4
樹種区分 A 1.6	10-15	0.2	0.16	0.26	0.32	0.22	0.13
	15-20	0.5	0.40	0.64	0.80	0.56	0.32
	20-25	1.0	0.80	1.28	1.60	1.12	0.64
	25-30	1.9	1.52	2.43	3.04	2.13	1.22
	30-35	3.0	2.40	3.84	4.80	3.36	1.92
	35-40	4.4	3.52	5.63	7.04	4.93	2.82

判定結果は以下のようになった。

- 立木密度 400-600 本/ha のとき、DBH-20cm 以上で高機能判定
- 立木密度 600-800 本/ha のとき、DBH-20cm 以上で高機能判定
- 立木密度 800-1,600 本/ha のとき、DBH-15cm 以上で高機能判定

これらを図 2.26 に当てはめると、高知のスギ林においては、 $\Delta C = 2 \sim 4 \text{ kN/m}^2$ 以上の範囲で崩壊防止機能が高機能判定（黄緑以上）となる条件となった。

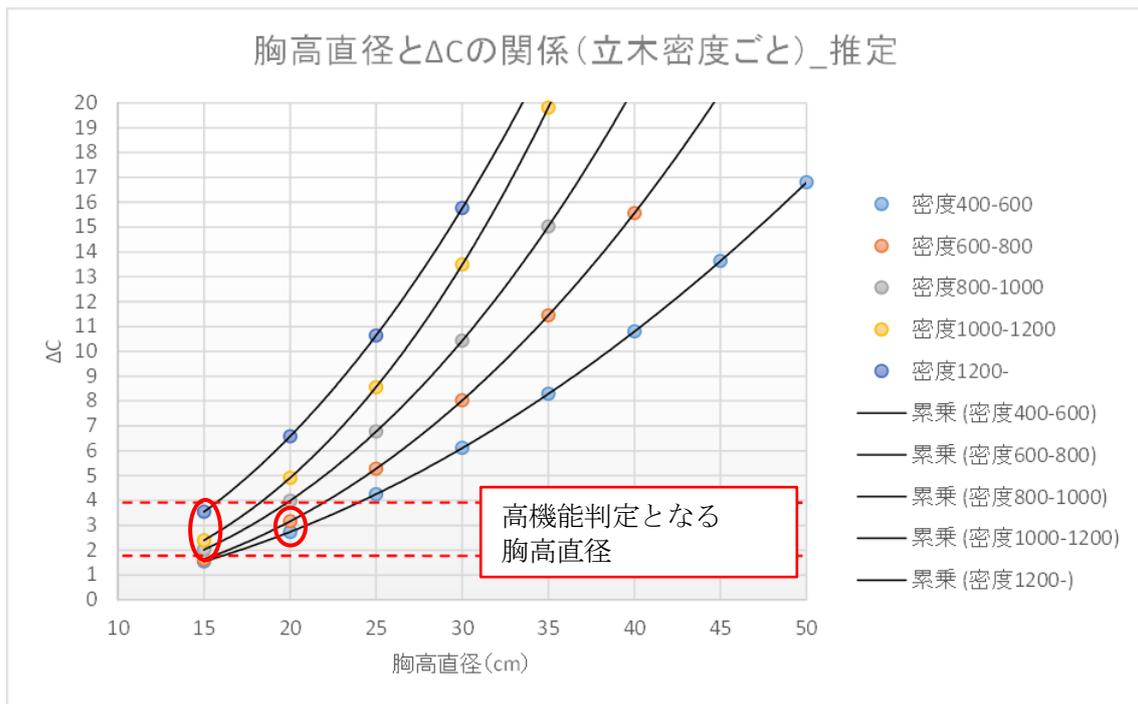


図 2.26 崩壊防止機能が高機能判定となる ΔC の推定

例えば $\Delta C=3 \text{ kN/m}^2$ を目指す場合は、立木密度 800~1,000 本/ha のとき、胸高直径は約 18cm を満たす必要がある。また、胸高直径が 20cm のときは $\Delta C=3 \text{ kN/m}^2$ を満たすためには、立木密度が 600~800 本/ha 程度以上である必要がある。このように、胸高直径と立木密度の組合せから、目標とする森林の崩壊防止機能に達しているかどうか判定が可能となる。

次章以降では、施業を含む森林の成長シミュレーションを行い、森林の崩壊防止機能の将来を予測する例を示す。その中で、施業が崩壊防止機能に与える影響や、間伐等の実施タイミングによる崩壊防止機能の増減をどのように評価し、森林計画に反映させていくのか、考え方の一端を紹介する。

2.1.2 崩壊防止機能の評価方法

森林の崩壊防止機能が時間とともにどう変化するのか、また施業による増減を評価できれば、それを踏まえた森林整備を計画することができる。

2.1.3 LYCSによる森林の成長シミュレーション

森林総合研究所により開発された「収穫表作成システム LYCS3.3 (LYCS:ライクス)」(以後、LYCS という)を用いて、いくつかの森林施業パターンを設定し、シミュレーションした結果から、森林の崩壊防止機能を表す指標である林野庁手引書(案)の「評価点P」及び森林根系(水平根)が発揮する「断面抵抗力 ΔC 」を算定した。

(i) LYCSパラメータの設定

仮定の森林を想定し、表 2.5 の対象地域、樹種及び地位を設定し、表 2.6 をパラメータとして使用した。初期立木数は 3,000 本、シミュレーション期間は 10~60 年生とした。地位 1 及び地位 3 の各地域と樹種の組み合わせを、表 2.7 の施業 0~4 の 5 パターンで、シミュレーションした。

表 2.5 シミュレーションの対象地域、樹種及び地位

	地域	樹種	地位
1	青森	スギ	1・3
2	愛知・岐阜	スギ	1・3
3	熊本	スギ	1・3
4	愛知・岐阜南部	ヒノキ	1・3
5	中国	ヒノキ	1・3
6	九州	ヒノキ	1・3

表 2.6 LYCS で使用したパラメータ

	間伐種類	間伐年	間伐方法	間伐率	内容
1	0	無施業	—	—	放置(初期本数 3000)
2	1	15 年	下層	15%	除伐
3	2	30 年	下層+全層	30%	伐り捨て間伐
4	3	40 年	全層	25%	1 伐 3 残 搬出間伐
5	4	55 年	全層	33%	3 残中列 搬出間伐

表 2.7 施業パターン

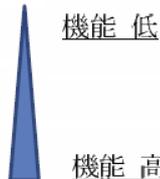
	施業パターン名	間伐種類の組み合わせ
1	施業 0	0
2	施業 1	1
3	施業 2	1 → 2
4	施業 3	1 → 2 → 3
5	施業 4	1 → 2 → 3 → 4

(ii) 森林の成長シミュレーション結果と ΔC に求めるめやす値

シミュレーションより出力されたデータから、胸高直径及び立木密度を抽出し、それらを基に「評価点 P」及び「根系による断面抵抗力 ΔC 」を算定した。

表 2.8 森林の土砂崩壊防止機能の判定表（林野庁手引書（案）より）

森林の土砂崩壊防止機能区分	点P	色区分
a	~0.3	赤
b	0.3~0.8	黄
c	0.8~1.3	黄緑
d	1.3以上	緑



森林の成長に伴う「評価点 P」の変化を追いかけ、表 2.8 を参考に、

- ・低機能 (赤) → やや低機能 (黄) へ切り替わるときの林齢と ΔC
- ・やや低機能 (黄) → やや高機能 (黄緑) へ切り替わるときの林齢と ΔC

これらを調べてとりまとめたのが、表 2.9 及び表 2.10 である。

表 2.9 のスギでは地位 1 と地位 3 を用意した。地位 1 では林齢 25 年から遅くとも 40 年で、すべての地域及び施業パターンで低機能 (赤) を抜け出すが、地位 3 の青森、愛知では施業 0 や施業 1 の場合に 60 年経過しても低機能 (赤) から抜け出せない。地位および地域によって、森林の成長度合いが異なることがわかった。

また、地位 1 は成長がよく、低機能 (赤) を抜け出すが、そのときの ΔC 値は非常に大きく一部では 15~19 kN/m² と非現実的な値となる。 ΔC は過大となりやすい問題を有することは第 I 編 2.4.1 で指摘したが、それが露呈した形である。この場合は、評価点 P をやや低機能 (黄) にするために必要な ΔC の条件を求めているため、P と ΔC の指向性、性質の違いも影響している。いずれ、地位 1 スギにおいて算定されたこの大きな ΔC を目標値とするのはふさわしくない。

森林に求める最低限の崩壊防止機能を測る指標として、評価点 P のみ、あるいは ΔC のみを単独指標に用いることは、地位 1 スギのように、偏った結果をもたらす危険性がある。したがって、2つの指標を併用することを基本とした。施業の計画を考える上で求める最低限の崩壊防止機能を見積もるという観点から、条件が悪く ΔC が小さくなる地位 3 の結果を用いることとする。ただし、熊本スギは地位 3 であっても、他地域に比べ生育が各段に良いため、 ΔC のしきい値算定の対象から除外した。参照した ΔC は、表 2.9 及び表 2.10 の青枠範囲である。これらの ΔC をとりまとめたものを表 2.11 に示す。

森林が低機能 (赤) を抜け出すための必要最低限の値はスギで $\Delta C=3$ 、ヒノキで $\Delta C=4$ である。

表 2.9 シミュレーション結果による ΔC の検証 (スギ)

樹種	青森スギ (地位1)				樹種	青森スギ (地位3)			
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC
施業0	35	13.7	45	15.6	施業0	低機能状態	-	低機能状態	-
施業1	35	14	40	16.7	施業1	低機能状態	-	低機能状態	-
施業2	30	8.2	35	10.1	施業2	60	4	やや低機能状態	-
施業3	30	8.2	35	10.1	施業3	60	3	やや低機能状態	-
施業4	30	8.2	35	10.1	施業4	60	1.8	やや低機能状態	-
樹種	愛知スギ (地位1)				樹種	愛知スギ (地位3)			
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC
施業0	40	10.1	45	10.5	施業0	低機能状態	-	低機能状態	-
施業1	35	9.1	40	10	施業1	低機能状態	-	低機能状態	-
施業2	30	5.2	40	7.7	施業2	40	4.6	やや低機能状態	-
施業3	30	5.2	40	5.3	施業3	40	3.1	やや低機能状態	-
施業4	30	5.2	40	5.3	施業4	40	3.1	やや低機能状態	-
樹種	熊本スギ (地位1)				樹種	熊本スギ (地位3)			
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC	林齢	ΔC
施業0	30	18.9	45	23	施業0	30	16.2	50	25.5
施業1	25	15.3	45	22.8	施業1	30	16.8	45	22.5
施業2	25	15.3	30	12.1	施業2	やや高機能状態	-	30	10.7
施業3	25	15.3	30	12.1	施業3	やや高機能状態	-	30	10.7
施業4	25	15.3	30	12.1	施業4	やや高機能状態	-	30	10.7

表 2.10 シミュレーション結果による ΔC の検証 (ヒノキ)

愛知ヒノキ (地位1)					愛知ヒノキ (地位3)				
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
	林齢	ΔC	林齢	ΔC		項目	林齢	ΔC	林齢
施業0	低機能状態	-	低機能状態	-	施業0	低機能状態	-	低機能状態	-
施業1	55	6.9	やや低機能状態	-	施業1	低機能状態	-	低機能状態	-
施業2	30	5.0	55	6.5	施業2	40	4.2	やや低機能状態	-
施業3	30	5.0	50	5.0	施業3	40	2.8	60	5.8
施業4	30	5.0	50	5.0	施業4	40	2.8	60	3.7
中国ヒノキ (地位1)					中国ヒノキ (地位3)				
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
	項目	林齢	ΔC	林齢		ΔC	項目	林齢	ΔC
施業0	45	8.5	55	8.0	施業0	低機能状態	-	低機能状態	-
施業1	40	9.0	50	8.2	施業1	低機能状態	-	低機能状態	-
施業2	30	5.9	35	6.9	施業2	35	3.9	やや低機能状態	-
施業3	30	5.9	35	6.9	施業3	35	3.9	やや低機能状態	-
施業4	30	5.9	35	6.9	施業4	35	3.9	50	4.2
九州ヒノキ (地位1)					九州ヒノキ (地位3)				
機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上		機能	低 (赤) → やや低 (黄)		やや低 (黄) → やや高 (黄緑) 以上	
	項目	林齢	ΔC	林齢		ΔC	項目	林齢	ΔC
施業0	40	7	55	7.3	施業0	低機能状態	-	低機能状態	-
施業1	40	7	50	7.4	施業1	低機能状態	-	低機能状態	-
施業2	30	3.8	45	6.2	施業2	35	4.0	やや低機能状態	-
施業3	30	3.8	45	4.6	施業3	35	4.0	60	5.8
施業4	30	3.8	45	4.6	施業4	35	4.0	60	3.7

表 2.11 評価点Pの低機能判定を抜けどすのに必要な ΔC しきい値

(上段: スギ、下段: ヒノキ)

青森スギ (地位3)			愛知スギ (地位3)			ΔC 平均値				
項目	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC					
施業2	60	4	施業2	40	4.6		3			
施業3	60	3	施業3	40	3.1					
施業4	60	1.8	施業4	40	3.1					
愛知ヒノキ (地位3)			中国ヒノキ (地位3)			九州ヒノキ (地位3)			ΔC 平均値	
項目	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC	項目	林齢	ΔC		
施業2	40	4.2	施業2	35	3.9	施業2	35	4.0		4
施業3	40	2.8	施業3	35	3.9	施業3	35	4.0		
施業4	40	2.8	施業4	35	3.9	施業4	35	4.0		

※平均値は整数値になるよう四捨五入した。

2.1.4 目指すべき森林の崩壊防止機能のめやす

(i) 最低限必要とされる ΔC 値のめやす

2.1.3 で森林が低機能（赤）を抜け出すために必要な最低限の値が、スギで $\Delta C=3$ 、ヒノキで $\Delta C=4$ として得られた。森林の崩壊防止機能として必要な最低限の ΔC 値には、これらの値を採用した。

(ii) 崩壊防止機能が低い森林

最低限必要な ΔC の値のみで、崩壊防止機能が低い森林を定義すると、平坦な森林地においても崩壊防止機能の向上が必要と誤解される可能性がある。崩壊防止機能が低い森林を抽出し、当該林分に対する施業の計画等を検討する際には、勾配等の地形要因を併せて考える必要がある。

崩壊は本来、森林とは関係なく地形要因、地質要因、降雨要因によって発生する。したがって、地形を考慮要素に加えるとともに、山地災害危険地区等の山地斜面ですで見積もられている別の指標を対象に加えた。そのうえで、本ガイドラインでは、崩壊防止機能の低い森林を評価するための指標として、表 2.12 を掲げる。A~D の4つの要因があり、条件としては、A かつ B かつ (C もしくは D) に該当した場合のみ、崩壊防止機能の低い森林と評価するものとする。記号で記せば、A&B&C または A&B&D である。

表 2.12 に示す「C：傾斜角」の設定については、急傾斜地法等の急傾斜地とされる傾斜角30度以上に準じた。ただし、「D：その他の指標」に該当する箇所については、A及びBの条件を満たす場合、傾斜角が30度未満であっても、崩壊防止機能の低い森林と評価する。

表 2.12 崩壊防止機能の低い森林を評価するための指標

	A：	B：	C：	D：
項目	評価点 P	ΔC [kN/m ²]	傾斜角	その他の指標
閾値	0.3 未満 判定・赤	スギ：3 未満 ヒノキ：4 未満	30 度以上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山地災害危険地区 ・ 土砂災害警戒区域 ・ 土砂災害危険箇所 <p style="text-align: right;">等</p>

(A かつ B かつ C) もしくは (A かつ B かつ D)
の場合、崩壊防止機能の低い森林と評価する

表 2.12 の指標で崩壊防止機能が低いと判定された森林については、2.1.5 及び 2.2 を参考とし、森林の機能回復に向けた適切な森林施業の計画を速やかに実施することを推奨する。

2.1.5 森林の崩壊防止機能の将来予測

森林の土砂災害の防止・軽減を図るため、崩壊防止機能が低いとされる森林への適切な施業は重要である。また、適切な施業が必要な森林を特定するための方法を前節にて提示した。本節においては、現在の森林の崩壊防止機能区分と、それが将来どのように変化するかを具体的に予測する方法を示す。林分を伐採した場合の崩壊防止機能の低下度合いの事前推測等、効率的かつ適切な森林施業の計画の目安となるよう活用されたい。

(1) 将来予測の方法

将来予測を実施するためのフロー図を図 2.27 に示す。

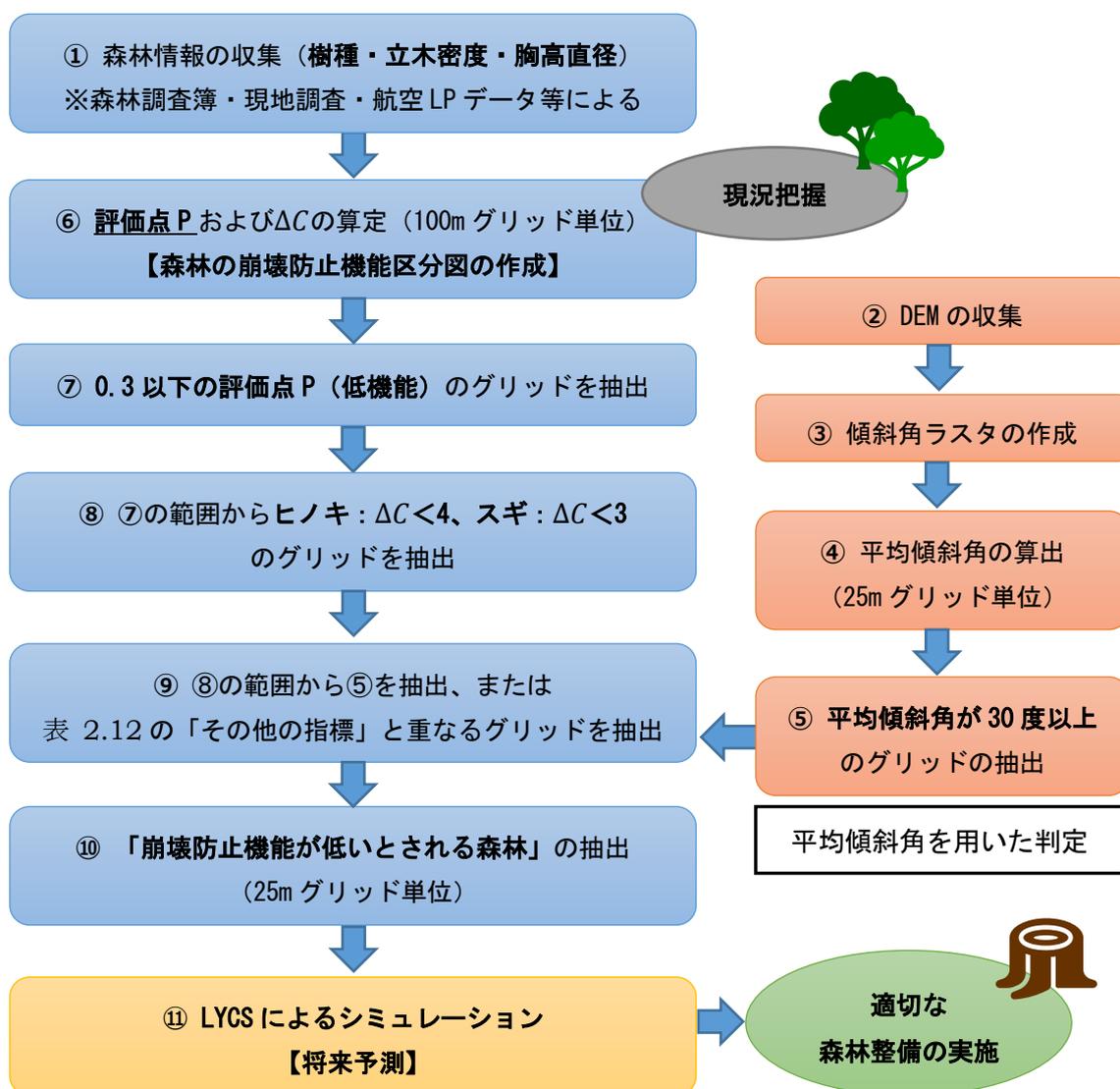


図 2.27 将来予測のフロー

将来予測は、対象範囲において現状の崩壊防止機能区分図を作成して、表 2.12 の指標に則り崩壊防止機能が低い森林に特定された林分に対して実施する。現況の崩壊防止機能と将来予定する除伐、間伐等の施業の影響を踏まえた崩壊防止機能を評価するために LYCS による成長シミュレーションを行う。

図 2.27 フロー①の森林情報の収集においては、森林簿や森林調査簿を活用することが最も簡易だが、更新時期によって森林状況が変化することがあるので留意されたい。昨今は航空 LP データの整備が進み、また、その点群データを用いた森林解析技術も向上している。航空 LP データ、若しくは UAV 写真測量である SfM による点群等を活用することで、上層木樹頂点及び樹高が抽出できる。抽出した樹頂点から立木密度を求め、樹高と立木密度から、森林総合研究所の「収量比数 Ry 計算プログラム」を用い、調査地域の平均的な胸高直径をエクセル上で求めることができる。

これらの森林情報から、「森林の崩壊防止機能区分図」を GIS 等のシステムで作成する。GIS 上での評価単位は 100m グリッドを推奨するが、森林簿や森林調査簿の情報を活用する場合、林小班ごとのデータとなるため、林小班単位でもかまわない。林小班のポリゴンに森林情報の属性を入力したうえで、グリッドを重ね、範囲内の属性値、若しくはその平均値を求め、グリッドに付与すればグリッド単位での作業が行える。

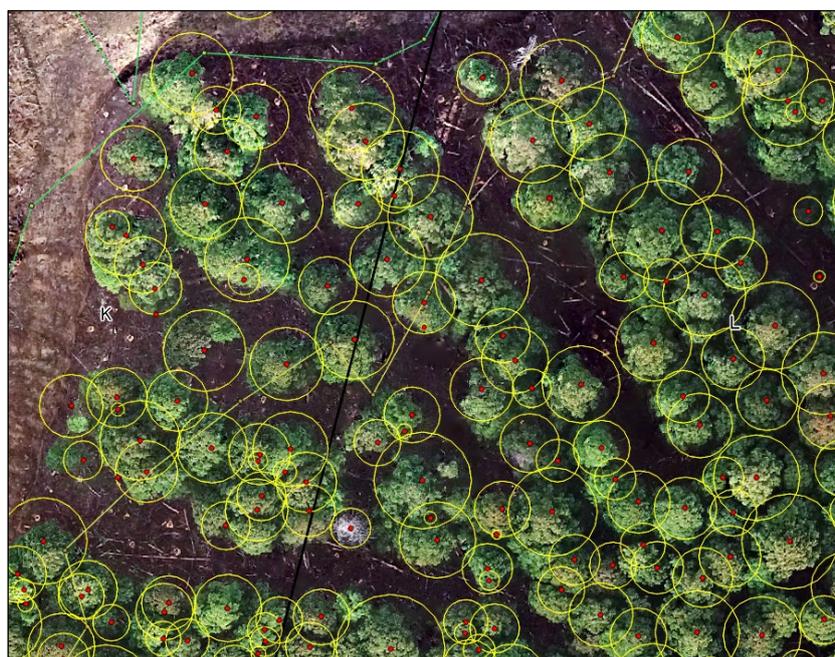


図 2.28 点群解析による樹頂点抽出結果の表示例

(2) では、崩壊防止機能が低い森林の抽出例とグリッド単位での崩壊防止機能の将来予測の具体例を示す。

(2) 将来予測の事例

広島国有林内のヒノキ林を対象モデルとし、(1)の方法で「崩壊防止機能の低い森林」を抽出し、LYCSによる将来予測を行った事例を示す。

まず、表 2.12 に則り、評価点 P が 0.3 未満かつ ΔC が 4 未満（ヒノキの場合）のグリッドを抽出した（図 2.29）。ここでのグリッドサイズは 100m である。

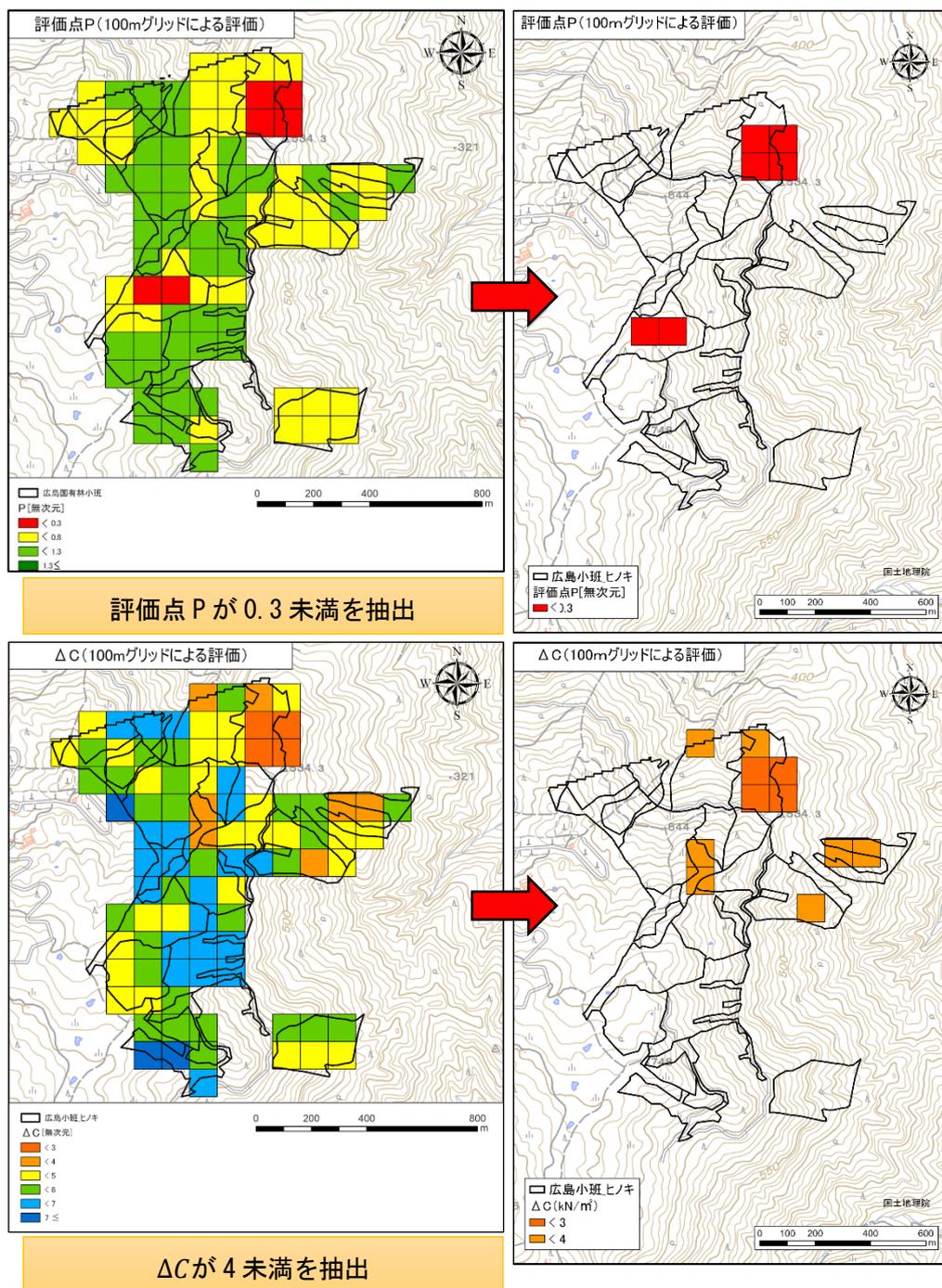


図 2.29 崩壊防止機能が低い森林を抽出

次に、基盤地図情報の 5mDEM を基に算出した傾斜角を、25m グリッドごとの平均値とした。100m グリッドで傾斜をみると小さな尾根や谷が消失するため、傾斜角データは 100m ではなく 25m グリッドで処理した。

最後に、評価点 P が 0.3 未満かつ ΔC が 4 未満（ヒノキの場合）のグリッドに傾斜角 30 度以上のグリッド情報を重ねて「崩壊防止機能の低い森林」を抽出した（図 2.30）。

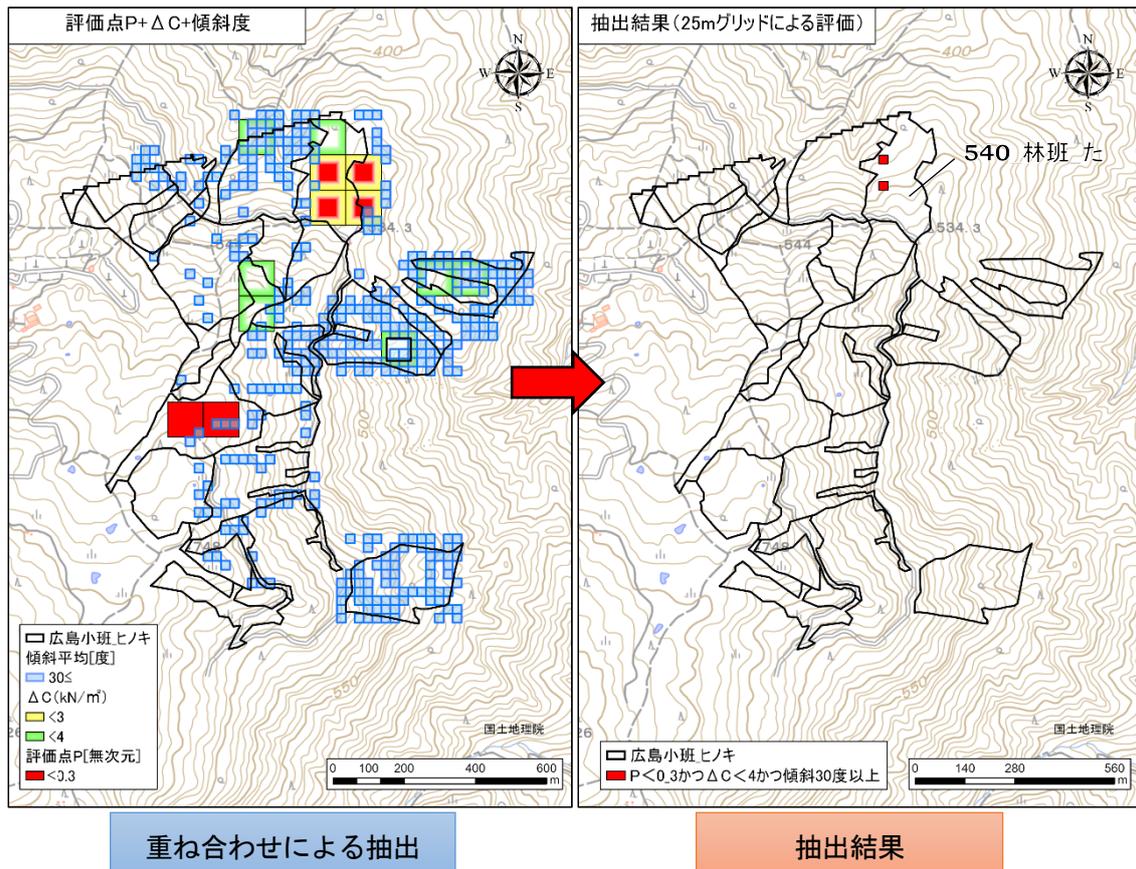


図 2.30 「崩壊防止機能の低い森林」の抽出イメージ

図 2.30 の赤い■（25m グリッド）が最終的に特定された「傾斜角が 30 度以上の崩壊防止機能の低い森林」である。抽出されたグリッドが入る林小班の主な情報を表 2.13 に示す。

表 2.13 「崩壊防止機能の低い森林」の主な情報

林小班名	林齢 (年生)	過去の 施業回数	過去の 施業年(年)	過去の 施業内容
540_林班_た	21	1	2007	除伐
林小班内の 崩壊地の有無	胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)	評価点 P	ΔC (kN/m^2)
有	13.7	1,356	0.2	2.1

※使用した森林調査簿の最新更新は 2019 年。

抽出されたグリッドは、除伐のみ実施された若い林齢の森林であった。LYCS ではパラメータとして、現在の立木密度及び平均胸高直径を与え、成長シミュレーションを実施している。評価点 P 及び ΔC の時系列変化を図 2.31 に示す。

今回の検討では 2 回の施業を計画した。35 年生時 20% 切捨間伐、55 年生時 25% 搬出間伐である。

評価点 P は 25 年生でやや低機能 (黄) になり、この時点で「崩壊防止機能の低い森林」からは外れる。40 年生でやや高機能 (黄緑) まで向上しその後、60 年生時においてもやや高機能 (黄緑) を保った状態となる。

ΔC は 30 年生の時点で 4.72 となり、最低限のめやすである $\Delta C=4$ 未満を抜け出す。その後、35 年の間伐を経ても ΔC は増加を続けるが、55 年の間伐で一度 ΔC の低下が生じる。60 年生時に ΔC は 4.96 まで減少するが、70 年生で 5.75 と ΔC は 5 以上に到達する。

今回取り上げたヒノキ林は 21 年生と若く、立木密度が 1,356 本/ha と適度に整備され、成長シミュレーション上、間伐施業を加えずとも評価点 P 及び ΔC は向上し、「崩壊防止機能の低い森林」(ヒノキ: $\Delta C=4$ 未満) からは外れる。したがって、崩壊防止機能のみに限定すれば、施業の必要性はない。ただし、経済林として成長シミュレーションをみると、無施業時の主副林木の総収穫量は 70 年生時で 375 m^3/ha に対し、2 回の間伐施業を実施した場合は 443 m^3/ha と 68 m^3/ha (+18%) 増加する。また、間伐施業を行ってもその間に「崩壊防止機能の低い森林」(ヒノキ: $\Delta C=4$ 未満) となることはないことも確認できる。

LYCS を使い森林の成長シミュレーションを行うことで、森林が発揮する崩壊防止機能を考慮しつつ、収益性とのバランスを検討し、効率的かつ効果的な森林施業の計画の立案に活用することができる。

次の 3 章では、崩壊防止機能の向上を意識した森林施業の計画の考え方を具体的に示す。

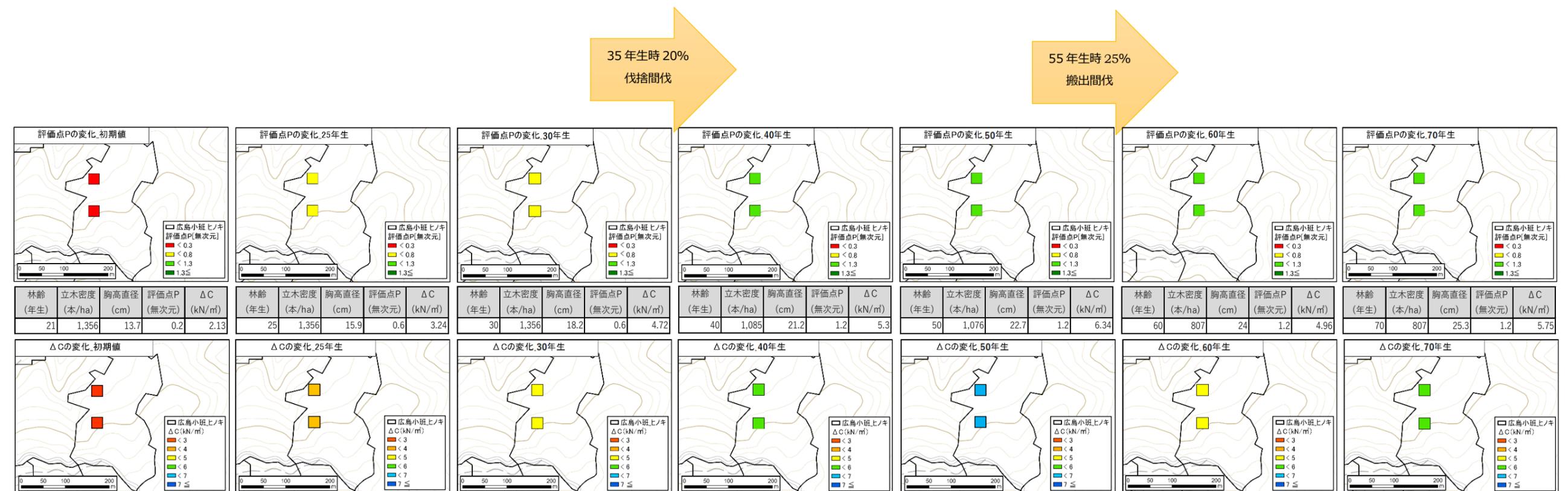
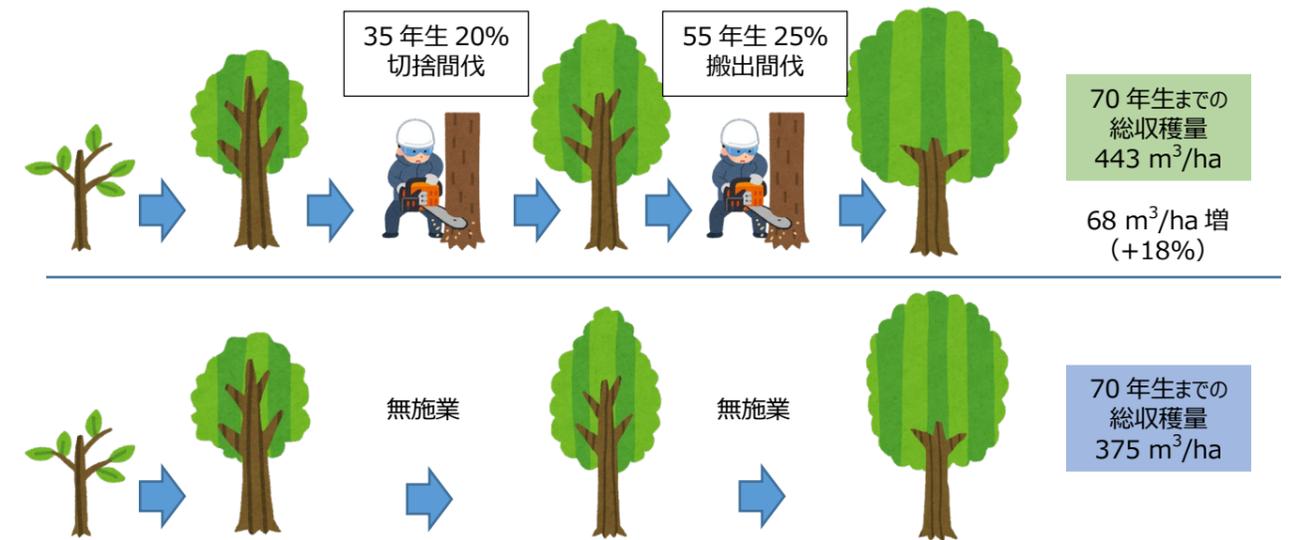


図 2.31 LYCS による森林の将来予測：評価点 P 及び ΔC の変化 (上段：評価点 P、下段： ΔC)

2.2 森林整備手法の具体の検討

【仕様書項目（1）②】

森林整備手法における幅広い選択肢、オプションを提示する観点から、現地の多様な条件を踏まえた施業内容を検討する。

2.2.1 ガイドラインで使用する施業用語の定義

林業で使用される用語は、地域や団体によって異なることが多いため、ガイドラインで用いる用語は、以下に示すものに統一する。

表 2.14 本ガイドラインでの用語の使い方

用語	本ガイドラインでの意味	
単層林	林齢や高さのほぼ等しい樹木から構成される森林	
複層林	林齢や高さの異なる樹木から構成される森林（ある一定の面積が複数の林齢の単層林の組み合わせによって構成される森林も含む）	
天然生林	自然の遷移に委ね主として天然力（自然に散布された種子や根株からの萌芽など）により成立維持される森林	
針広混交林	林冠層が針葉樹（主に植栽木）と広葉樹で構成される森林（下層のみに広葉樹が侵入している森林は針広混交林とはしない）	
広葉樹林	林冠層が広葉樹で構成される森林	
更新	伐採などにより樹木等がなくなった箇所に植林や自然力を活用して森林の世代を変えること（変わる事）	
下刈り	植栽した苗木の成育を妨げる雑草や灌木を刈り払う作業 一般に植栽後の数年間実施される	
除伐	育てようとする樹木の生育を妨げる他の樹木を刈り払う作業 一般に間伐が必要となる状態（植栽木が互いに接し合う状態）までの間に数回実施される	
間伐	育てようとする樹木同士の競争を軽減するためにおこなう伐採 保安林内では基本的に 35%の伐採率が上限となる	
間伐方法	列状間伐	作業の低コスト化等を目的に一定の間隔で列状に間伐を行う方法
	定性間伐	形質が良く健全な樹木を優先的に育成するため、形質や成育が不良な樹木を優先的に選定し間伐を行う方法
主伐	更新または更新準備のための伐採もしくは上層木の全面的な伐採	
主伐方法	皆伐	森林を構成する林木を一定のまとまりで一度に伐採する方法
	漸伐	天然更新に必要な上層木を保存しておおむね 70%以内の伐採率で森林を構成する林木を一定のまとまりで一度に伐採する方法
	択伐	概ね 30%以内の伐採率で部分的に伐採する方法
	誘導伐	単層林が複層状態に至るまでの間に下層樹木の更新や育成のために上層の樹木を抜き伐りする方法（主に長期循環型の育成方法として実施される）
長伐期施業	通常の間伐林齢のおおむね 2 倍以上に相当する林齢で主伐を行う施業方法	
天然生林施業	植林など的人為的な更新を行わず、森林を自然の推移に委ね天然力を活用して森林を造成する施業方法	

2.2.2 基本方針

(1) 本ガイドラインの意図するところ

除伐や間伐は基本的に森林の状態を向上させる施業だが、皆伐等の強い伐採を行うと森林の崩壊防止機能は一時的に低下する。その後、時間の経過とともに崩壊防止機能は回復していくが、防止機能の低下度合いや期間は小さく、短くなることが望ましい。森林の利活用を計画する上で、どのような整備が望ましいか、その判断基準を示すことが本ガイドラインの狙いである。

例えば平坦な土地では崩壊の発生は想定されず、崩壊防止機能が発揮されることを期待する場所ではない。そのような場所では経済林としての活用を基本とする森林経営をおこない、逆に急勾配の斜面や、保全対象に面した斜面など崩壊防止機能を重点的に検討する必要がある箇所、若しくは崩壊防止機能を発揮させたい森林では、経済林としての活用に加えて、防災への配慮も求められる。なお、森林の崩壊防止機能は基本的に表層崩壊に対して有効であり、数百年に一度のような極端な豪雨や深層崩壊に対してはきわめて限定的な効果に留まるものと考えられる。

p.II-42 で示した例では間伐により収穫量が2割増となったが、主伐でなく間伐であっても、伐採箇所周辺の根が腐朽するとともに崩壊防止機能は一時的に低下する。しかし、面的にみて崩壊防止機能の低い箇所が点状であれば崩壊発生にはつながらず、列状伐採のように線状範囲の低下であっても一定幅未満の伐採幅であれば同じく崩壊発生を直接引き起こすわけではない。このガイドラインでは防災に配慮しつつ経済林として森林を活用するための基本的な考え方を整理した。伐採により過度に機能低下が生じてはいないか、その確認をとるために第II編 2.1.2 で最低限維持すべき（下回らない）崩壊防止機能のめやすを提示し、第I編 3.3 では崩壊防止機能を定量化/評価する方法を記載している。

本ガイドラインではすべての森林において崩壊をゼロにすることを目指すものではないが、少なくとも施業を行ったことで崩壊が発生することのないよう、施業の計画を立てる際に伐採面積や伐採強度、時期などについて配慮すべき内容を提示したものである。

また、林野庁では国有林野の管理経営に当たって、森林の重視すべき機能別に管理経営の指針を策定している。これも同様に森林の防災機能と生産性や利活用とのバランスをとるために用途別、機能別に分けて考える方策であり、(3) でその一部を紹介する。

(2) 崩壊防止機能を向上させる施業の基本方針

崩壊防止機能の高い理想的な森林とは、樹木の健全な成育により根系が深くかつ広く発達し、林内に適度な陽光が入ることで下層植生が良好に繁茂しており、林床は常に落葉層を保持しているような森林である。これは、発達した根系で土壌を保持するとともに下層・林床植生（落葉層）により地表を流れる水を分散させて侵食を発生させない森林であるが、時間経過とともに姿が変化する森林をこのような状態で保持するためには、適期に適切な管理（施業）を実施することが必要となる。また、崩壊防止機能の発揮には根系が健全に成育していることが重要であるため、「皆伐」のような立木がない状態の期間がない（少ない）方が望ましい。そのため、崩壊防止機能を向上させる施業の基本方針としては、下記に示すとおりとする。

2.1.2の指標で判断される「崩壊防止機能の低い森林」や「崩壊防止機能を発揮させたい森林」では、地域で定められた整備計画（例えば市町村森林整備計画など）に基づき計画的に施業を実施することを基本とし、極力立木密度が低く疎となる箇所（弱部）が連続しない施業方法を検討する。また、大規模な「皆伐」は行わず「漸伐」「択伐」「誘導伐」などにより更新を行い、更新時に大面積が無立木地にならないよう留意する。

(3) 森林の機能類型

林野庁では、国有林野の管理経営に当たって、各機能類型に応じた管理経営の指針が策定されており、土砂の流出、崩壊等の山地災害防止機能の高い森林を目指す「山地災害防止タイプ（土砂流出・崩壊防備エリア）」では下記に示す施業指針が定められている。

●国有林野の各機能類型に応じた管理経営の指針について（平成11年1月29日付け11林野経第4号林野庁長官通達）より抜粋

「山地災害防止タイプ（土砂流出・崩壊防備エリア）」

【施業方法】

- ・天然力の活用が可能な林分は、育成複層林、天然生林へ導く施業を行う
- ・天然更新が可能な育成単層林は、複層伐や群状択伐等で積極的に広葉樹の導入を図り針広混交林をめざす

【伐採・搬出】

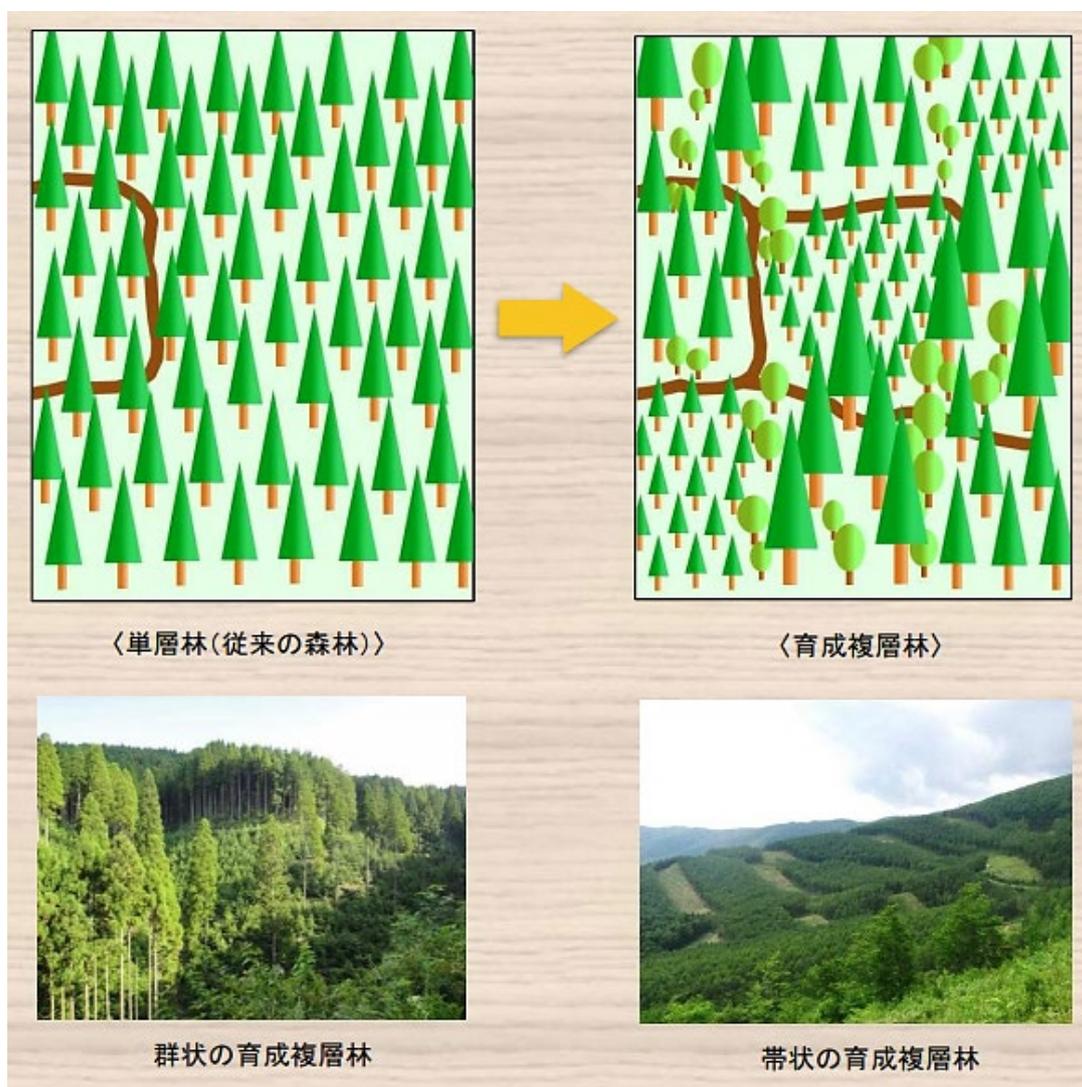
- ・主伐は複層伐または択伐を基本とし、林分構造の改良を図る箇所では、成長の衰退した林木等を対象とする。複層伐または択伐が基本
- ・伐採により著しく土砂の流出や崩壊による被害のおそれが高まる場合は、伐採を行わない
- ・複層伐の場合、伐採後の材積で標準伐期齢時の材積50%以上を維持し、1伐採箇所の面積は1ha以下とする。

【保育・間伐】

- ・樹種の多様化による根系の充実を図るため、針葉樹林では広葉樹の育成を図る
- ・下層木、林床植生を促すため、やや疎仕立ての密度管理とする

崩壊が懸念されるような危険度の高い箇所は、急斜面で経済林に適さない場合が多いことから、上記の指針も含め多くの指針等で天然生林若しくは針広混交林に誘導することが勧められている。これは、多様な樹種による根系の充実を図ることを目的としているためであり、必ずしも広葉樹（林）の根系発達針葉樹と比べ優位であるという意味ではない。したがって、経済林として循環活用する箇所では単層林として循環させることも可能である。ただし、更新時に皆伐を選択しないことを考えると、最終的には樹種を問わず「複層林」を目指すことが望ましい。

なお、ここでいう「複層林」は、同じ地点の森林が複層状態であること以外にも、ある一定の面積が林齢の異なる複数の単層林が組み合わさった形で構成される森林も含む（平面的に林齢や高さの異なる森林が成育している状況：図 2.32 参照）。



※出典：国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林整備センター 育成複層林造成推進リーフレット

図 2.32 平面的な複層林のイメージ

2.2.3 崩壊防止機能を向上させる施業のポイント

林野庁手引書（案）では、土砂崩壊防止機能が高い森林として以下の3つの条件が示され評価点Pの考え方が提示されている。基本的には、樹木単木の根系が十分に発達し、その単木が面的にある程度の量が確保されている森林とすることが重要となる。

- 【土砂崩壊防止機能が高い森林】**

 - ①根系の引き抜き抵抗力が大きい樹種からなる森林
 - ②立木密度が1,000～1,200本/ha程度の森林
 - ③胸高直径が大きい樹木からなる森林

①の根系引き抜き抵抗力が大きい樹種は、最も良い森林としてのスギや針・広天然成林が提示されており、次いでヒノキや広葉樹二次林等が示されている。②については、立木密度が高すぎる場合は単木の成長が悪く根系が発達しないため機能が低く、逆に立木密度が低すぎる場合は、立木本数が少なく根系の絶対量が低減するため、適正な立木密度があるとされている。③の胸高直径の大きさは、図2.33に示すとおり根の成長（量）と直接の相関関係が確認されていることから、崩壊防止に対し重要な指標とされている。

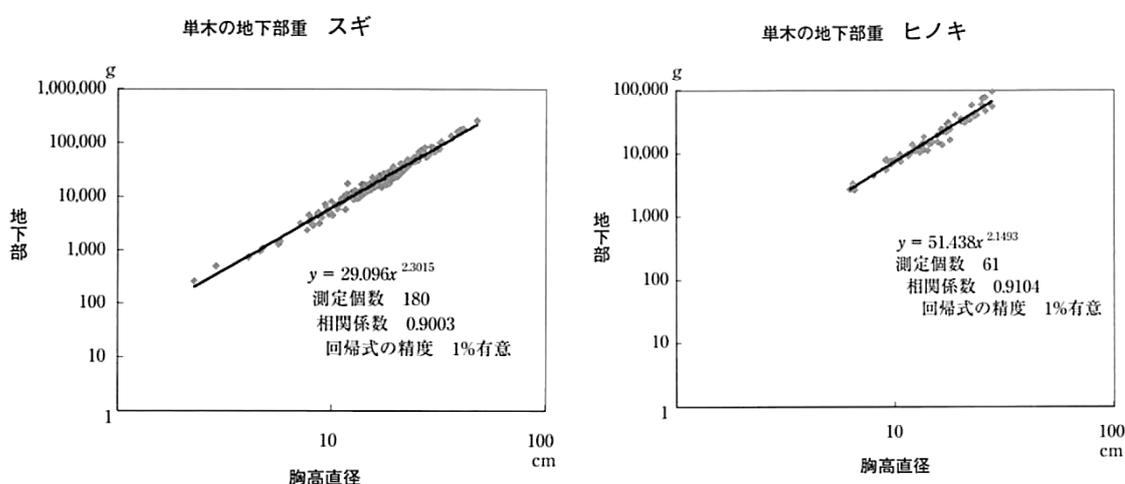


図 2.33 単木の胸高直径と地下部重の関係（荻住昇 2010）

樹木の集合体である森林は、立木密度の高い箇所には胸高直径の大きな樹木が育成できないという特性があり、胸高直径の成長は立木密度に依存する。そのため、崩壊防止機能を高く発揮する森林とするためには、胸高直径を効率よく肥大させる管理（間伐の実施）が重要となる。

つまり、胸高直径が適度に大きく、立木密度が適度に保たれているバランスの取れた森林が「崩壊防止機能の高い森林」であるといえ、特に立木密度を適正にコントロールすることが重要となる。このバランスが崩れた場合、以下のような問題が発生する。

【立木密度が高い場合】

立木密度が高い状態で樹木が成長した場合、林冠の閉鎖により林内の光環境が悪化し、枝の枯れ上がりがみられ、樹冠長率（樹冠長/樹高）が低くなる傾向がみられる。樹冠長率が低い個体は、着葉量が確保されないことから、たとえ間伐などの施業により密度管理を行ったとしてもその後の旺盛な成長が望めないことが多い（スギなどの針葉樹は、萌芽などで新たな枝が発生することが望めないため、一度樹冠長率が低下すると成長に必要となる葉量が確保できず十分な光合成が行えない）。

そのため、胸高直径が大きな樹木で構成された森林を造成するためには、単木の枝の枯れ上がりが発生する前に「早めの間伐」を実施し、健全な樹木を育成することが重要となる。特に初期の間伐が遅れると樹冠長率が低くなりやすいため、初回の間伐をしっかりと実施することが重要となる。

【立木密度が低い場合】

立木密度が低い場合、樹木単木では良い肥大成長が望めるが、立木密度が低くなりすぎると単木の肥大効果（単木の根系発達効果）よりも森林全体に成育する単木の本数が少なくなる効果の方が上回るようになるため根系の絶対量が不足し、崩壊防止機能が低減することが知られている（図 2.34 参照。 ΔC は立木間中央の根の断面抵抗力を表す）。

したがって、立木密度が低くなりすぎた場合は、補植などにより森林全体の根系量を確保する施業が崩壊防止機能を発揮するためには有効であり、長伐期施業（下層植栽実施）や複層林に誘導する施業を選択することが望ましい。

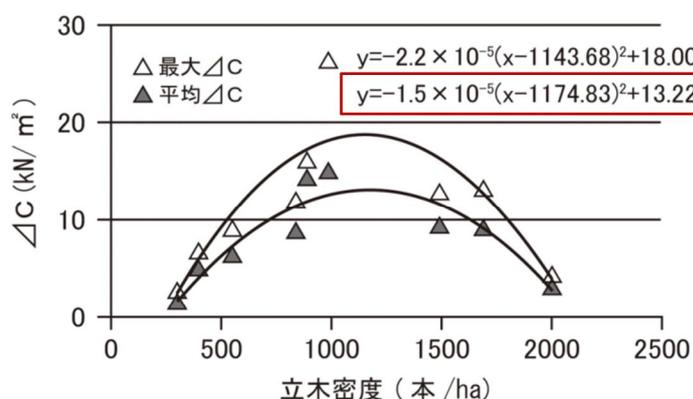


図 2.34 カラマツ林の平均、最大 ΔC と立木密度の関係（伴・北原ら 2011）

【立木密度と胸高直径の適正なバランス】

図 2.34 からは、立木密度が 1,000～1,200 本/ha 程度のときに最も崩壊防止機能が高いことが伺える。これは評価点 P の指標とも整合しており、評価点 P では表 2.15 に示すとおり立木密度が 800～1,600 本/ha の範囲で最も高い評価点が与えられることとなっている。

また、LYCS でのシミュレーションでは図 2.35、図 2.36 のとおり施業を行うことで地域や地位、樹種に関係なく胸高直径が大きくなることが明らかであり、特にヒノキ林で施業効果が高いことが分かる。このように、適正な施業を行い密度をコントロールすることで胸高直径の成長（根系の成長）が促されることから、地域ごとに定められた整備計画をしっかりと実施した上で、密度が 800 本/ha 以下となるような段階で補植などを実施する施業を繰り返す（バランスを保つ）ことが、立木密度と胸高直径が適正な森林となり機能が効果的に発揮されるものと考えられる。

表 2.15 評価点 P の本数密度の評点 (針葉樹人工林の場合)

針葉樹人工林					
本数 (本/ha)	400~600	600~800	800~1,600	1,600~1,800	1,800~2,000
評価点	0.5	0.8	1.0	0.7	0.4

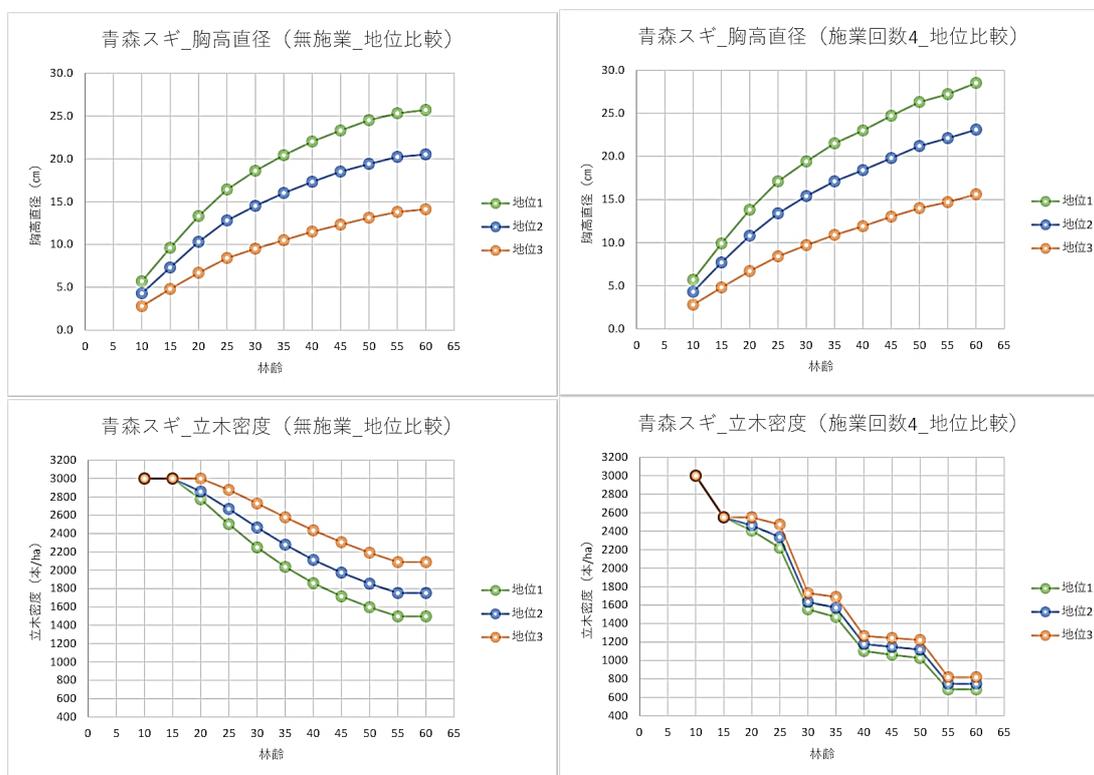


図 2.35 青森スギの無施業と4回施業の胸高直径と密度変化 (左:無施業、右:4回施業)

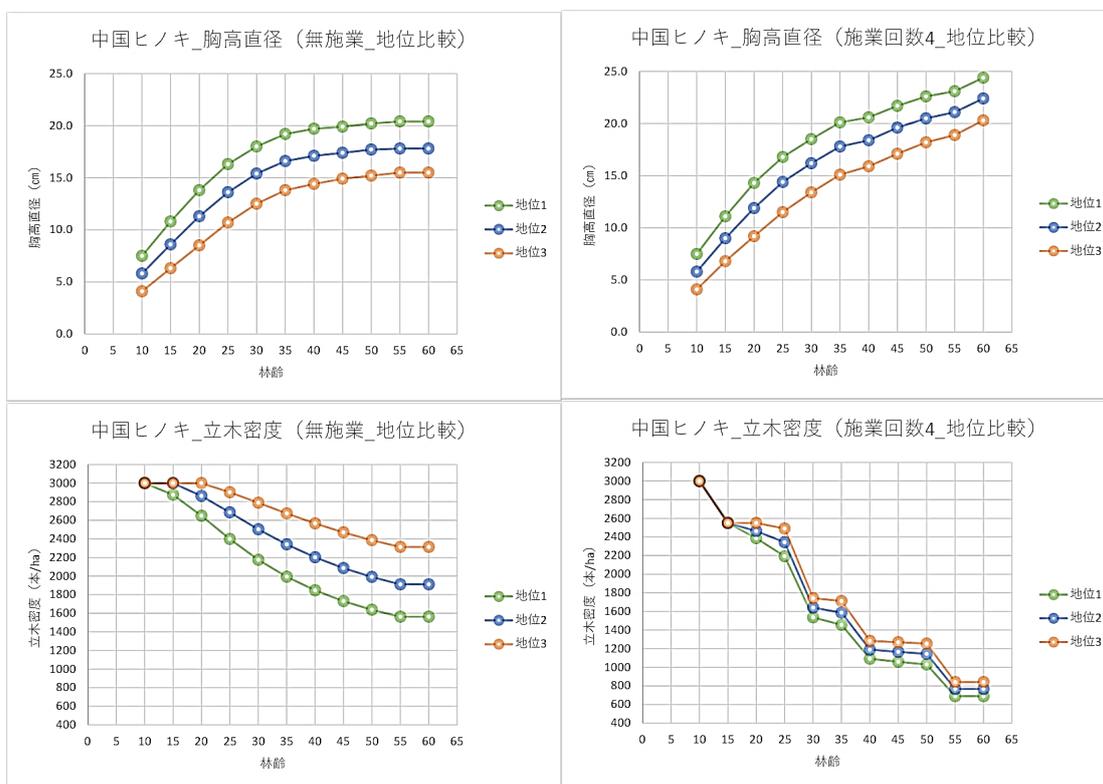


図 2.36 中国ヒノキの無施業と4回施業の胸高直径と密度変化 (左:無施業、右:4回施業)

【皆伐（立木密度の極端な低下）による影響と植栽木の効果の関係】

崩壊防止機能の発揮には、立木密度を適切にコントロールすることが重要だが、立木密度を極端に低下させる施業が「主伐」であり、特に皆伐は立木の効果が得られない（無立木地）状態となる。ただし、伐採後も根株などはすぐに腐朽しないことから、崩壊防止に影響する根の引き抜き抵抗力は伐採後ただちに「ゼロ」になるわけではなく徐々に低下する。また、皆伐箇所では更新のために伐採後なるべく早く植栽することが通常で、植栽木が成長することで新たな根系の引き抜き抵抗力の増加が期待できる。これらの関係を示したのが図 2.37 であり、森林は伐採後ただちに植栽したとしても 10 年～20 年くらいで最も崩壊防止機能が低下することが知られている。

急斜面で皆伐した場合、林床を覆う落葉落枝が流失し蒸発散や枝葉等による緩衝効果が望めず、降雨による表土攪乱の可能性が増加するなど、崩壊防止の観点から望ましくない。一方で比較的平坦な斜面で皆伐した場合は、表土攪乱される可能性は低く、そもそも崩壊が生じないことから皆伐施業が問題となる可能性は低い。また、主伐としての「皆伐施業」は崩壊防止機能の観点から基本的に推奨できないが、崩壊発生のおそれがないなど対象斜面の状況や樹種に応じて計画することは可能である。ただし、伐採に伴う崩壊防止機能の低下度合いを小さく、低下期間を短くするために新植し、更新が速やかになされるよう配慮することが望ましい。

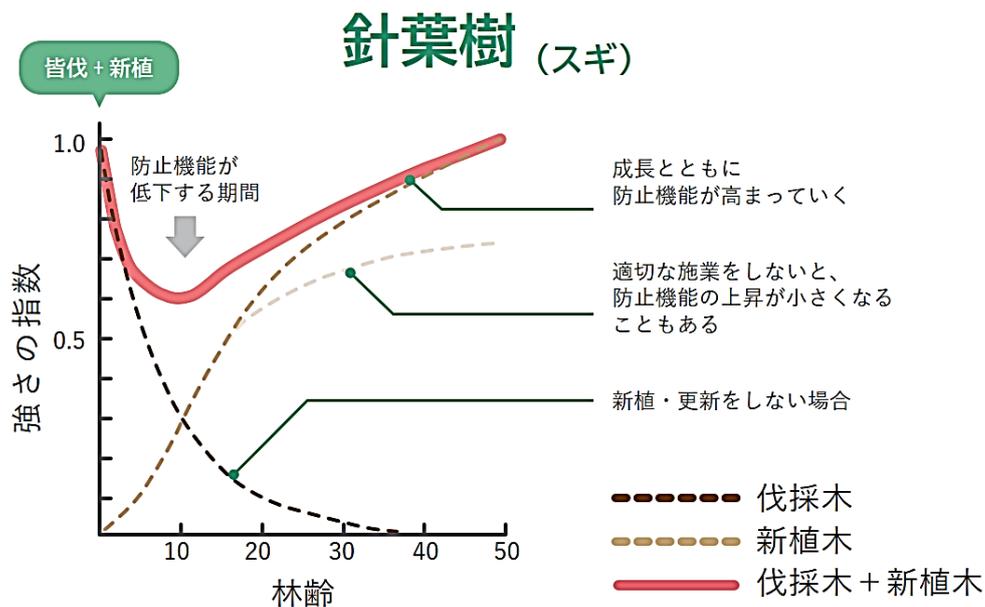


図 2.37 森林伐採後の根系強度の経年変化（北村ら²1981 を元に加筆作成）

以上を踏まえ、崩壊防止機能を向上させる施業のポイントとしては以下のとおりである。

² 北村嘉一・難波宣士（1981）：抜根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能、林業試験場研究報告、No.313、p.175-208.

- ◆ 間伐により適正な密度管理を心がけ、密度が下がり過ぎた場合は補植する
- ◆ 早めの間伐を実施することで樹冠長率が確保された健全な樹木の成長を促す
- ◆ 林床が落葉や植生で被覆されるよう、林内に適度な光を入れる（適正な密度管理）
- ◆ 大規模な皆伐施業を避け、長伐期施業も含めた複層林を目指す
- ◆ 更新時（誘導伐による複層化含む）はなるべく早く植栽し、植栽木の成長を促す

2.2.4 整備目標のめやす

崩壊防止機能の高い森林を目指すためには、立木密度と胸高直径のバランス（立木密度のコントロール）が重要であることを示した。したがって、施業を実施する際には「立木密度」、「胸高直径」を整備目標の指標として利用することが有効となる。

林野庁が「土砂流出防止機能の高い森づくり指針（林野庁、平成 27 年 3 月）」で示した、崩壊防止林の林齢 30 年生以上の指標値を見ると表 2.16 のとおりとなる。理想的な施業を考える上では、表 2.16 に示す値を早期に達成できるよう施業の計画を立てることが望ましい。なお、針広混交林、広葉樹林については明確な密度管理等が困難であるため、おおむね胸高直径 20cm 以上を目指すこととされている。

表 2.16 崩壊防止機能を発揮する森林整備のめやす（針葉樹）

指標	樹種	指針	理想
胸高直径	スギ	22cm	23~25cm
	ヒノキ	20cm	20cm 以上
立木密度	スギ	1200 本/ha	800~1100 本/ha
	ヒノキ	1200 本/ha	800~1200 本/ha

ただし、表 2.16 に示された値は地域ごとの成長度合いなどの条件が加味されておらず、理想的に成長した場合であるが、実際は地域や地位により成長にばらつきがみられる。そこで、前章で実施した LYCS によるシミュレーションを基に、少なくとも林齢 30 年時点で評価点 P が「やや低機能」となり、林齢 40 年時点で「やや高機能（あるいは高機能）」となる最低限の指標値の設定を試みた（成長度合い「高」）。ただし、ヒノキはスギに比べ成長が遅いため林齢 40 年時点で「やや高機能」をクリアする箇所が少なかったため、林齢 50 年で「やや高機能」をクリアする指標値を抽出した（成長度合い「低」）。その結果、表 2.17 に示すとおりとなった。

表 2.17 崩壊防止機能を発揮させるための最低限の整備目標値

樹種	成長度合	林齢 30 年		林齢 40 年		林齢 50 年	
		胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)
スギ	高	17.5	1600	21.5	1300	22 以上	1300 以下
	低			19.0	1500	21.0	1400
ヒノキ	高	16.5	1600	21.0	1100	21 以上	1100 以下
	低			19.0	1200	21.0	1100

胸高直径は 0.5cm、密度は 100 本/ha 単位で丸めた

したがって、崩壊防止機能の高い森林を目指す施業としては、表 2.16 に示す値を目標に、少なくとも表 2.17 に示す値を達成するように整備を進めていくことが重要である。表 2.18 にも示したとおり、地域や地位により胸高直径と立木密度とのバランス（成長量）は大きく異なることから、表 2.16、表 2.17 を参考に各地域に応じた目標値を設定し計画的に整備を進めていくことが望ましい。また、健全な林分として整備するためには、形状比 80 以下、樹冠長率 30% 以上を確保するよう、単木の健全性にも十分留意することが重要となる。

【参考：最低限の整備目標値の考え方】

表 2.17 は下の表 2.18 を基に作成した。表 2.18 は、各地区のスギ・ヒノキで成長シミュレーションを実施し、林齢 30 年で評価点 P が「低機能（赤）」を抜け出し「やや低機能（薄緑）」にぎりぎりである地位・施業回数を抽出している。その後、林齢 40 年、林齢 50 年時に指標値がどう変化しているかを確認し、林齢 50 年時点で評価点 P 値が「やや高機能」をクリアしない場合は対象から外した。その上で、林齢 40 年時点までに「やや高機能」をクリアした場合を「成長度高」、林齢 50 年時点までに「やや高機能」をクリアした場合を「成長度低」として整理した。抽出された胸高直径、立木密度の平均値を表 2.17 で採用している。

表 2.18 シミュレーション結果より抽出した胸高直径と立木密度

樹種	地区	地位	施業回数	林齢30年				林齢40年				林齢50年			
				胸高直径	立木密度	ΔC	P	胸高直径	立木密度	ΔC	P	胸高直径	立木密度	ΔC	P
				(cm)	(本/ha)			(cm)	(本/ha)			(cm)	(本/ha)		
スギ	青森	1	2回以上	19.4	1554	8.15	0.8	23.2	1390	11.79	1.6	-	-	-	-
		2	2回以上	15.4	1634	4.58	0.6	18.7	1508	7.05	0.8	21.3	1392	9.08	1.6
	愛知	1	2回	16.8	1502	5.20	0.8	20.5	1339	7.72	1.6	-	-	-	-
		1	3回以上	16.8	1502	5.20	0.8	20.1	1062	5.28	1.6	-	-	-	-
	熊本	5	2回	18.7	1685	8.24	0.6	22.1	1612	12.36	1.1	-	-	-	-
		5	3回以上	18.7	1685	8.24	0.6	21.9	1237	8.32	1.6	-	-	-	-
	目標	成長度高		17.6	1600			21.6	1300						
		成長度低		17.6	1600			18.7	1500			21.3	1400		
ヒノキ	愛知	1	3回以上	16.9	1634	4.98	0.4	18.3	1183	3.96	0.6	20.3	1134	4.99	1.2
		1	2回	18.5	1535	5.88	0.6	20.9	1385	7.17	1.2	-	-	-	-
	中国	1	3回以上	18.5	1535	5.88	0.6	20.6	1092	4.94	1.2	-	-	-	-
		2	3回以上	16.2	1640	4.45	0.4	18.4	1189	4.05	0.6	20.5	1143	5.19	1.2
	九州	1	2回	15.8	1526	3.75	0.6	19.5	1327	5.56	0.6	22.2	1170	6.70	1.2
		1	3回以上	15.8	1526	3.75	0.6	19.1	1066	3.86	0.6	22.5	962	5.29	1.2
		2	2回	15.6	1655	4.06	0.4	18.8	1518	6.06	0.6	20.8	1388	7.09	1.2
		2	3回以上	15.6	1655	4.06	0.4	18.5	1190	4.12	0.6	21.4	1114	5.65	1.2
	目標	成長度高		16.6	1600			20.8	1100						
		成長度低		16.6	1600			18.8	1200			21.3	1100		

※表中 は「やや低機能」、 は「やや高機能」、 は「高機能」を示す

2.2.5 具体的な施業の計画の考え方

崩壊防止機能を向上させる具体的な施業の計画としては、以下のとおりである。次項以降に詳細を整理した。

【目標・目的】

- ◆ 下層植生が繁茂し、健全で胸高直径の大きな樹木で占められている林分が途切れることなく存在する状態を継続させる
- ◆ そのためにも、地域で定められた整備計画に基づき計画的な施業を実施する
- ◆ 目標林型は、樹種や構造を問わず当該地の目的に応じて設定できるが、極力複層林（平面的な複層林含む）とし皆伐を行わないことが望ましい

【方法】

- ◆ 過密な森林は、弱度の間伐を段階的に実施し、徐々に整備目標値に近づける
- ◆ 疎な森林は、補植を行うか天然生林施業を実施し整備目標値に近づける
- ◆ 旺盛な成長が望めない地域では、極力胸高直径が肥大するよう「疎」仕立ての施業を行い、整備目標値に近づける
- ◆ すでに施業が遅れている箇所においても、その時点からこまめな施業を実施し整備目標値に近づける
- ◆ その際、単木の樹冠長率や形状比に留意し弱度の間伐を複数回繰り返すなど、単木の健全性などにも留意する
- ◆ エリートツリーは初期の成長が早いことから、早期の崩壊防止機能の発揮が期待できるため、危険度の高い重要な場所では積極的に活用することが望ましい

【留意点】

- ◆ 旺盛な成長が望めない地域ほど、施業の重要性が増すため、より計画的な施業を心掛ける
- ◆ 天然力を活用する天然生林施業を実施する場合には、モニタリングにより施業効果や更新状況を必ず確認すること
- ◆ 根系のない弱部を連続させることで危険性が高まることから、極力弱部が連続するような施業を選択しない（列状伐採に関する詳細は 3.5.1 参照）

【その他】

- ◆ 表面侵食を防止するため、間伐材は筋工などとして利用することが望ましい
- ◆ 作業道からの崩壊発生を防ぐため、道路開設の際には排水などに十分留意すること

(1) 望ましい目標林型

下層植生が繁茂し、健全で胸高直径の大きな樹木が途切れることなく存在する状態が継続している森林

先にも述べたとおり、崩壊防止機能の高い森林は下記①～③に示した項目を満足していることが求められるものであり、これらを満足していれば目標とする樹種や構造にはこだわる必要はない。

- ① 主林木が健全で胸高直径の大きな樹木で構成され根系が十分に発達していること
- ② 下層植生や落葉層などにより林床が覆われており容易に表層侵食が発生しないこと
- ③ 弱部となるような根系が存在しない連続した空間を極力なくすこと

③で「連続した空間」とは列状伐採時などに生ずる線状の伐採範囲をいう。ここでは列状伐採を禁ずるものではないが、伐採幅が大きくかつ傾斜方向に設定した場合には当該箇所が崩壊側壁となる可能性が高まる。したがって、崩壊防止機能に配慮する施業の場合は大きな伐採幅を取らないことが望ましい。

図 2.38 はヒノキ林の立木間隔に応じた ΔC だが、立木間隔が 3.5m 程度を超えてくると、 ΔC が 5 以下となりやすいことが分かる。ヒノキの最低限の ΔC 値が 4 である (2.1.2 参照) ことから、伐採幅が 3.5m より大きい場合は ΔC が過小となる可能性がある。 ΔC の大きさは樹齢や樹種でも異なるため、一律に伐採幅の大小の判断はできない。したがって、詳細は個別に判断する必要がある。

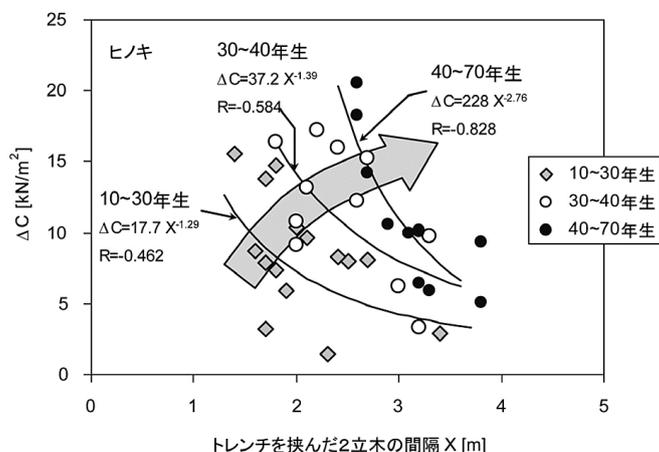


図 2.38 ヒノキの断面抵抗力と立木間隔 (林齢別) ³

また、循環型の経済林では針葉樹の単層林、水土保持タイプの様な森林では針広混交林の複層林や天然生林^{*}等といったように当該地区の目的に応じて目標林型を設定することが望ましい。

ただし、循環型の経済林等で更新の時期を迎えた場合、崩壊防止機能の観点からは、極力「皆伐」を控えることが望ましい。そのため、経済林として循環させる単層林であっても、地形等の条件から崩壊防止機能の発揮が求められるものを更新させる際には、「誘導伐」のような平面的に複層林状態を構

³ 木下篤彦・坂井佑介・大野亮一・田畑三郎・川島正照・山崎孝成 (2012) : スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討、砂防学会誌、Vol.65、NO.5、p.11-20.

成させるような施業、若しくは「漸伐」や「択伐」により無立木地の期間がなくなるような施業を心がける必要がある。特に、水が集まる凹地形等の微地形が崩壊発生に影響する可能性が高いことから、そのような場所は特に注意が必要である。

※場所によっては、目標林型を針広混交林や天然生林などとし、天然力を活用した更新方法を選択する場合もあるが、その場合にも放置するのではなくモニタリングを行い、更新していることを確認することが崩壊防止機能発揮のために重要となる。その際、例えば「国有林野事業における天然力を活用した施業実行マニュアル（林野庁，平成30年3月）」等を参考に、更新の確認や施業の検証を行うことが望ましい。

(2) 施業の計画の基本的な考え方

地域ごとに定められた整備計画に基づき、計画的に確実な施業を実施する

LYCSを用いて実施したシミュレーションでは、どの地域のスギ、ヒノキにおいても施業を実施することで、無施業よりも胸高直径が大きくなる結果が得られた。特に施業の効果は2回実施以降から発揮されることが多く（図2.39、図2.40参照）、計画的に継続的な施業を実施する重要性が示された。そのため、崩壊防止機能の高い森林を目指すためには、地域ごとに定められた整備計画に基づき、計画的で確実な施業をおこなうことが重要となる。

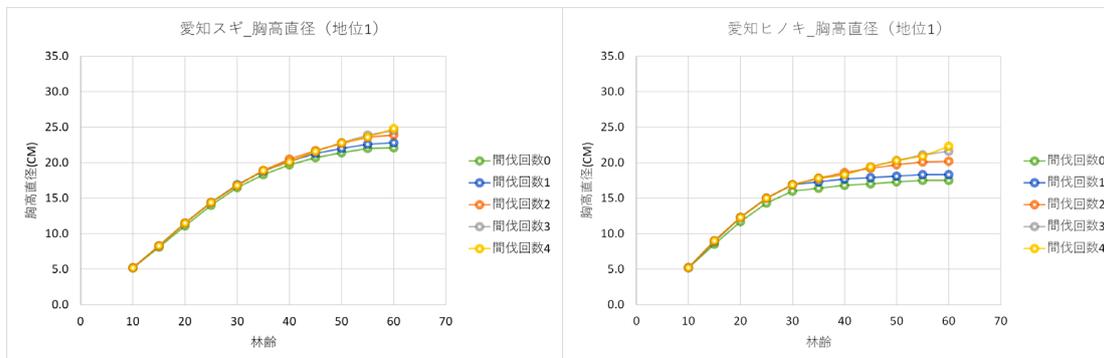


図 2.39 施業回数による胸高直径の成長変化（左図：愛知スギ、右図：愛知ヒノキ）

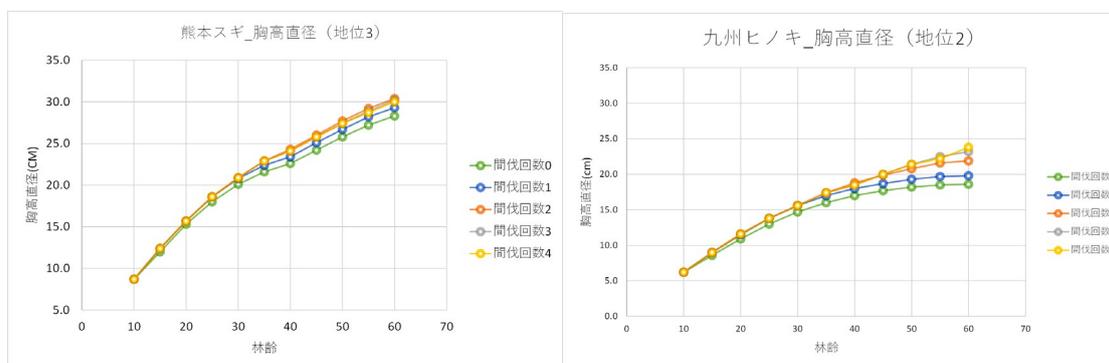


図 2.40 施業回数による胸高直径の成長変化（左図：九州スギ、右図：九州ヒノキ）

(3) 地域や成長量（地位）による考え方の違い

温暖な地域や地位の高い箇所など樹木成長が活発な箇所よりも寒冷地や成長量（地位等）が低い箇所ほど、施業による立木密度のコントロールが重要となることから、しっかりと計画的な施業を心がける必要がある

LYCS によるシミュレーション結果から、施業による評価点 P の変化をあらわしたのが図 2.41 となる。先に示したとおり、地域や地位に関係なく施業を実施することで、より早く評価点 P が高くなるのが分かる。しかし、成長の良い箇所（熊本・地位 1）では、施業を行わない（あるいは施業回数 1 回）でも比較的早い時期から評価点 P が高まるのに対し、成長の悪い箇所（青森・地位 2）では、施業を行わない場合、林齢 50 年時でも崩壊防止機能が「低機能」と判断される。一方で、施業 2 回以上実施した場合、評価点 P は林齢 30 年から「やや低機能」に向上しており、寒冷地や地位の低い箇所等、成長量が低い箇所ほど施業の重要性が高いことが分かる。したがって、崩壊防止機能の向上を考慮した場合、成長量が低いと考えられる箇所ほど、積極的な施業を実施し、適切な密度コントロールにより効果的に胸高直径を肥大させることが重要となる。

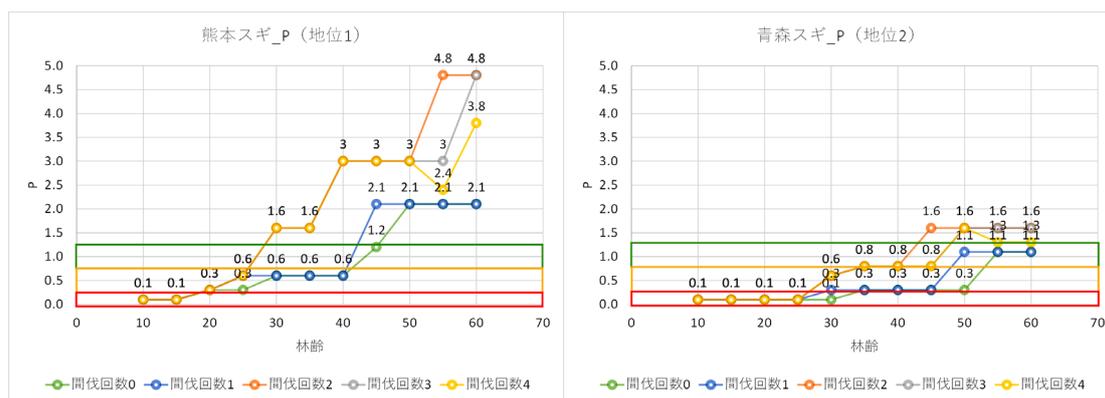


図 2.41 施業による評価点 P の変化

【参考：施業 4 回時の評価点 P の低下】

図 2.41 をみると、施業 4 回の 55 年時に評価点 P が低下していることが分かる。これは、シミュレーションの条件として、林齢 55 年時に 4 回目の施業を行ったことで立木密度が低下した影響である。このように、立木密度を下げすぎると評価点 P (ΔC も) は低下するため、立木密度が大きく低下する場合には、補植を実施し森林全体の密度を保つことが望ましい（目標林型として複層林を目指す理由）。

(4) 旺盛な成長が望めない地域（箇所）での施業の考え方

旺盛な成長が望めない地域（箇所）では、なるべく早い時期に少し強めの間伐を行うことが望ましい。ただし、形状比が高い森林では、弱度の間伐を計画的に繰り返し実施することで、気象害（雪害）等による被災を軽減する施業を選択する

LYCS のシミュレーションを実施した地区で、一番成長量が低い青森スギ（地位 3）では、標準とした施業 4 回を実施したとしても評価点 P が林齢 55 年の時点で「低機能」となるなど、成長量が低く旺盛な成長が望めない。このような地区では、通常の施業を実施したとしても崩壊防止機能が十分に発揮されないことが考えられる。このような場合の施業方法を検討するため、表 2.19 に示す施業モデルにより評価点 P 及び ΔC の変化を確認した。

その結果、図 2.42 に示したとおり、なるべく早く少し強めの施業（間伐）を実施することで、評価点 P がより早く高くなることが確認された。特に、現在青森県で試験的に実施されているような「低コスト施業（初期植栽本数を 1,000 本と極端に少なくした方法）」は、崩壊防止機能の観点からはとても効果が高い可能性が示された。これは、林分の密度が低いほど胸高直径の肥大効果が得られやすいことを示している。成育条件として成長が望めない地域や箇所では、極力早い時期から「疎仕立て（収量比数*0.6 程度）」の施業を行うことが効果的であるとも考えられる。ただし低コスト施業については、樹種特性による成長の違い（スギで肥大効果がみられても、ヒノキではみられなかったという報告がある）や植栽後 20 年位までは ΔC が低い、というシミュレーション結果も得られていることから、周辺環境や個別の林分条件に応じた検討が必要となる。

表 2.19 シミュレーションに用いた施業モデル

施業モデル	施業タイプ	初期本数	主伐林齢	施業方法	
				間伐率 (%)	間伐年 (林齢)
施業①	標準	3,000	60	15/30/25/33	15/30/40/55
施業②	こまめな施業	3,000	60	15/15/30/25/33	11/16/21/31/41
施業③	早め強めの施業	3,000	60	35/35/30	11/21/31
施業④	低コスト施業	1,000	60	15	40

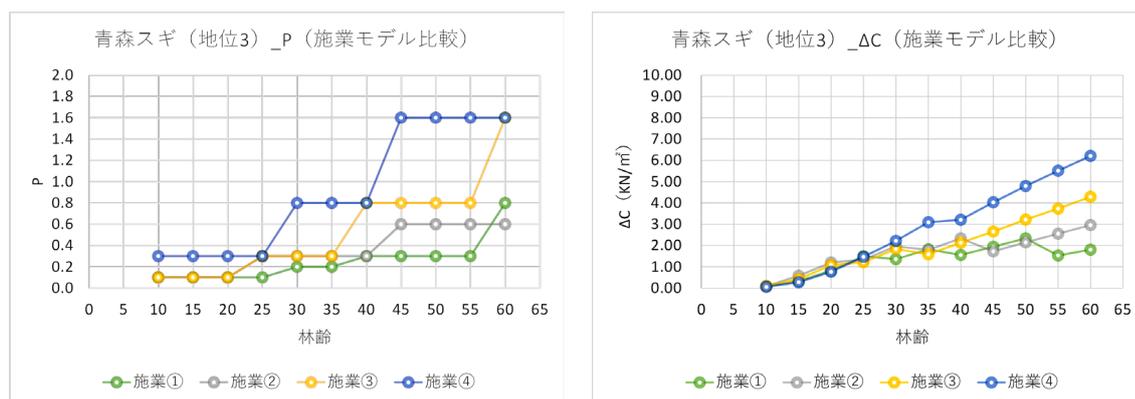


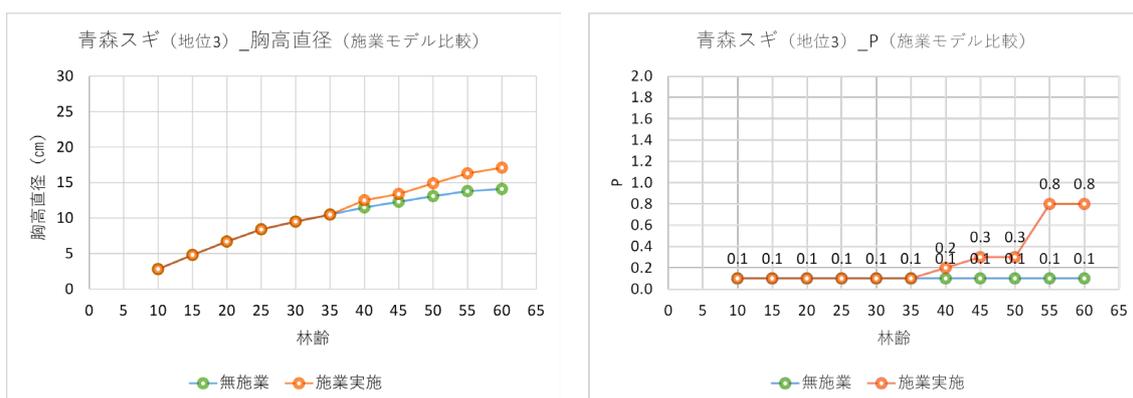
図 2.42 施業モデルごとの評価点 P と ΔC の変化

※収量比数とは、森林の混み具合（立木密度の状態）や間伐の適期等を判断する指標の一つであり、密度管理図等を用いて確認する。人工林の場合、収量比数 0.7 程度を目指すことが標準とされ、0.8 より大きい場合は「密」、0.6 より小さい場合は「疎」として判断される。

(5) すでに整備が遅れている箇所での施業の考え方

すでに整備が遅れている場合にも、その時点から極力早い段階で間伐などを実施することで崩壊防止機能の高い森林を目指す。ただし、樹冠長率が十分ではなく今後の成長が望めないような箇所では、小面積の「誘導伐」を繰り返し早期に更新を図ることが望ましい（天然生林施業を選択した場合には、順調に更新できているかなどを必ずモニタリングする）

上記に述べてきたとおり、崩壊防止機能の高い森林とするためには計画的な整備の実施が望まれるが、整備が遅れた場合にも、その時点からこまめな整備を行うことで図 2.43 に示すとおり胸高直径の肥大成長による評価点 P の向上が望める。そのため、しばらく放置された森林であっても、整備の必要性が明らかとなった時点から極力早い段階で間伐などの施業を実施することが望ましい。ただし、立木密度が高い状態で放置された森林では、樹冠長率が極端に低くなっている場合や形状比が高くなっていることが懸念されることから、気象害等の発生を防ぐため弱度の間伐を繰り返す施業や小面積の「誘導伐」を繰り返し、平面的な複層林を目指すなど、単木の健全性や周囲の気象害の危険性なども勘案した整備方法を模索することが重要である。



※ここでの施業は、林齢 40 年時から 5 年おきに間伐を実施 (間伐率 35/20/15/15)

図 2.43 整備遅れ林分 (林齢 40 年時点まで無施業) に対する整備効果

(6) エリートツリー（早生樹）の活用

先にも示したとおり、森林の崩壊防止機能は伐採後に新たに苗木を植栽したとしても伐採後10～20年の期間で最も機能が低下することが知られている（図 2.44 参照）。この期間は、伐採木の根系が徐々に腐朽し機能が低下する期間であるとともに新植木の根系が成長して機能を発揮するまでの期間にあたる。この期間の森林の崩壊防止機能低下を極力小さくするためには、伐採木の根系の腐朽を遅らせることは困難であるため、新植木の根系補強力を早期に発現させることが重要となる。

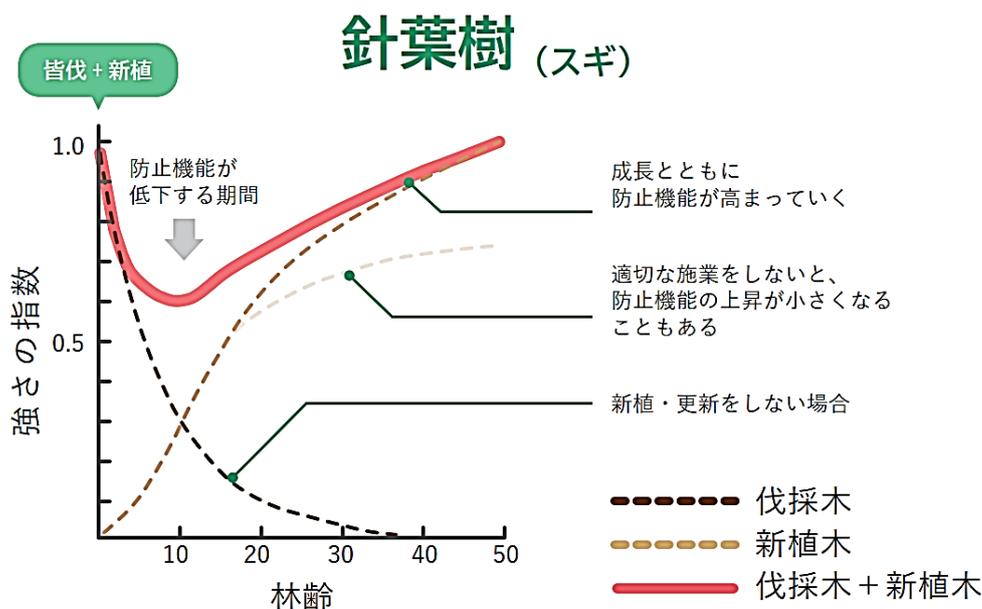


図 2.44 森林伐採後の根系強度の経年変化（図 2.37 再掲）

エリートツリーは、成長・形質に優れた品種や花粉症対策品種等の開発のため全国から選抜・保存された精英樹（第一世代）から、より成長特性等が優れた個体を選抜（第二世代）したものであり、その成長特性については、図 2.45 に示すとおり非エリートツリー（在来品種等）と比べ、地上部の初期成長が早いことが知られている⁴。

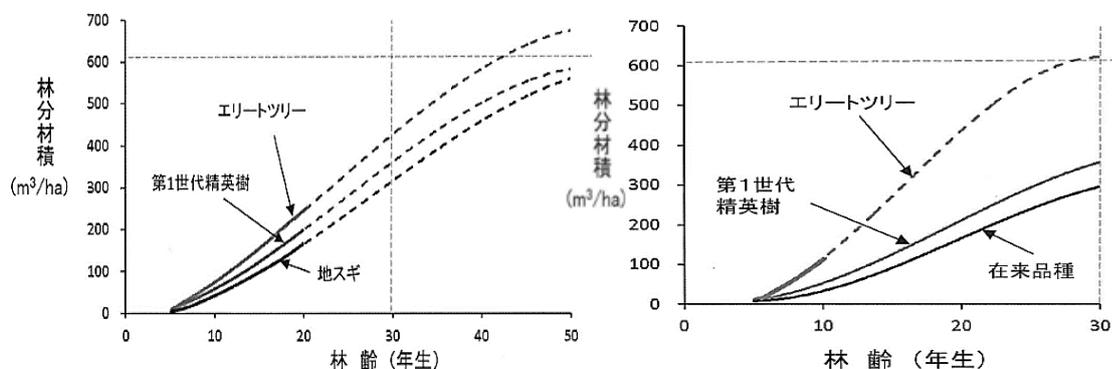


図 2.45 エリートツリー（スギ）の成長予測（左図：実生苗、右図：さし木）⁴

⁴ 川野康朗・岡田康彦（2019）：エリートツリーの開発・普及による「緑の国土強靱化」に向けて、水利科学、63巻、4号、p.21-39.

エリートツリーの T/R 率を調査し、非エリートツリーと比較したところ両者は概ね同等（2.3.3 参照）と考えられ、地上部がより早く成長するエリートツリーは経済林として有用であり、かつ地下部根系には従来品種と同等以上の崩壊防止機能が期待できる。

そのため、危険度の高い場所や保全対象が近い等、重要度の高い箇所では、積極的にエリートツリーを活用し、伐採後の機能低下期間をより短くし、早期の機能回復を期待することができると考えられる。

2.2.6 まとめ—森林施業の計画と崩壊防止機能

森林は、主に木材生産の場として活用されるが、一方で多面的機能を有しており、特に気候変動に伴う豪雨の増加など災害の危険性が增大している中で、森林が発揮する防災機能は重要視されている。そのような中では、経済活動としての林業と国土保全が両立するよう、森林の保全に配慮した施業が重要となる。

本ガイドラインでも示したとおり、森林の崩壊防止機能を高めるためには大規模な皆伐施業を避けることが望ましいなど、経済林としての効率的な整備と森林の防災機能の発揮には一部トレードオフの関係もあるが、基本的には計画的な整備を実施し、樹木の肥大成長を促すこと（材積を増やすこと）が経済林としても国土保全としても望ましい姿であることは変わらない。

そのため、地形や保全対象との位置関係等から崩壊防止機能が求められる、若しくは崩壊防止機能を発揮させたい森林（斜面）においては、本ガイドラインで示した留意点を考慮した上で整備を実施することが、結果として国土の保全（森林の多面的機能の維持・向上）と木材生産としての経済活動をバランスよく継続することにつながる。

森林の崩壊防止機能を発揮させたい斜面においては、通常の施業以外に、本ガイドラインで示した留意点について意識した施業の計画を立てた上で施業を実施し、安全で効果的、継続的な森林活用を行っていただきたいと考える。

2.3 現地調査（エリートツリーの根量調査）

【仕様書項目（1）③】

九州森林管理局熊本森林管理署管内における熊野岳国有林159と1林小班のスギ単層林（エリートツリー）の造林地において現地調査を実施する。

調査対象木は3本とし、調査項目についてはT/R率を求めるため、地上部情報（クローネ着葉部を3分割し、枝部の幹重量と葉の重量について調査）調査及び地下部測定（1cm程度以上の根と1cm未満の根を分別し、根の総重量を測定）調査とする。

なお、調査地や調査項目については、現地の状況や検討委員会の結果等により変更できるものとする。

森林の崩壊防止機能を早期に発揮させるために、成長の早い樹木で早期に根系成長を促すことが効果的といえる。その観点から早生樹やエリートツリーといった成長の早い樹種の導入は、地上部だけでなく根系成長も地上部同様に早いことが期待される。

しかしながら、早生樹やエリートツリーの地上部成長が早いことはこれまでに数多くの研究で立証済みだが、地下部の成長も早いかどうか（いいかえれば地下部も地上部と同様に成長し、地上部重量Tと地下部重量Rの比率であるT/R率が大きくなるか）に関する定量的な研究はみあたらない。

以上を踏まえ、エリートツリーの地下部成長を実際に調査した。

2.3.1 エリートツリーの調査方法

（1）地上部重量の測定

調査木を伐倒後、枝下高から先端までの葉重量と枝重量を測定した。葉は、緑部分（幹先端の緑部分を除く）すべてとする。枝は、幹から分枝し、葉を除く部分とした。幹重量は先端までの部分を計測した。

（2）地下部重量の測定

地下部の重量は、隣接する立木間中央までと直根の伸びる深さまでを掘り取り後、1cm程度以上の太い根と1cm程度未満の細い根に分けて重量を測定し、根の重量とする。

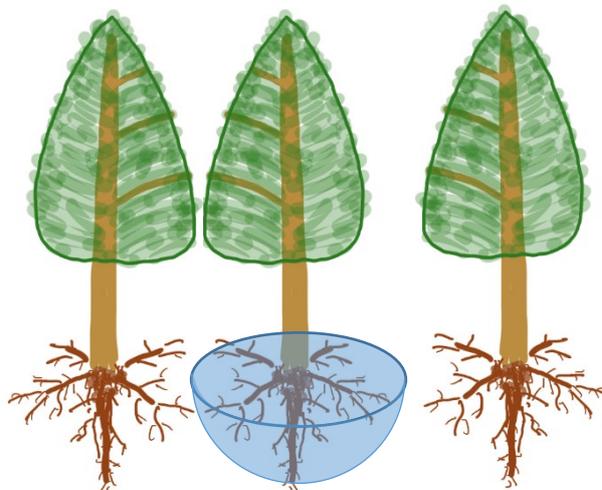


図 2.46 地下部重量の測定範囲

(3) 重量測定 (乾重)

地上部および地下部ともに、105度の恒温器にて乾燥後、重量を計測した。



写 2.1 根系部作業状況地下部の乾燥

2.3.2 調査箇所、調査木

(1) 調査箇所

調査箇所は九州森林管理局内で、林齢を考慮して若齢の宮崎と 20 年弱の熊本の 2 箇所の検定林とした (表 2.20)。

表 2.20 エリートツリー検定林

検定林名	所在地	森林管理署	林班	植栽年、月
九熊本 162 号	宮崎県えびの市	宮崎森林管理署 都城支署	黒原国有林 3017 ほ	2012.3 植栽
九熊本 147 号	熊本県玉名市	熊本森林管理署	熊野岳国有林 159 と 1	2004.3 植栽



図 2.47 九熊本 147 号検定林内の様子

(2) 調査木

調査木は表 2.21 に示す 8 本である。

胸高直径は 7~20.5cm、試験当時 (2020 年、2022 年) の林齢は 9~19 年と若齢である。エリートツリーは 19 年より林齢の高い木はほぼなく、調査対象は若齢木に限られる。

表 2.21 調査木諸元

区分	ID	DBH[cm]	樹高[m]	枝下高[m]	樹冠長率	材積量[m3]
熊本 19年生 (2022 試験時)	I	20.5	14.19	8.3	42%	0.232
	II	18.0	13.27	8.8	34%	0.171
	III	16.0	12.9	7.1	45%	0.134
熊本 17年生 (2020 試験時)	A	16.0	11.30	6.9	39%	0.116
	D	13.0	10.65	5.0	53%	0.074
宮崎 9年生 (2020 試験時)	O	11.5	6.32	0.5	92%	0.033
	J	10.0	7.44	0.5	93%	0.031
	M	7.0	5.20	0.3	94%	0.011

*材積量は、立木幹材積表（西日本編）に拠った。

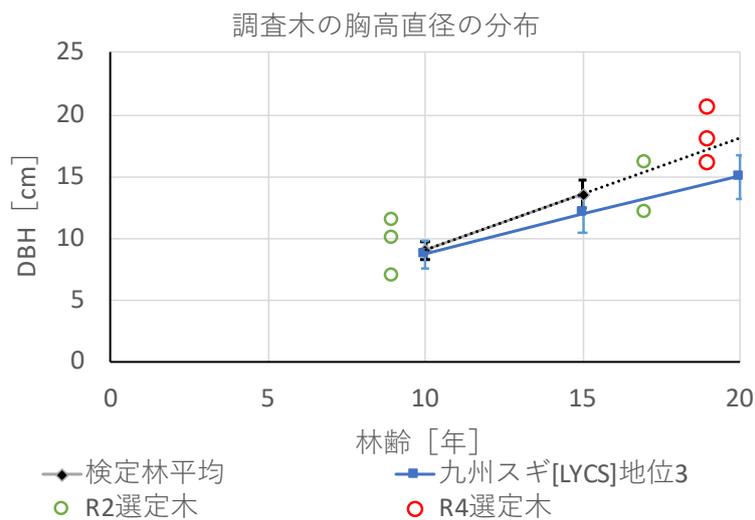


図 2.48 調査木の胸高直径の分布

2.3.3 調査結果

調査で得られた地上部および地下部の乾燥重量から、T/R 率を算定した。測定結果を表 2.22 に示す。

R4 熊本 19 年生の調査結果は、T/R 率 3.87~3.95 の値を示し、同一林分を調査した R2 熊本 17 年生 2.87~2.99 よりも高い（→地下部現存量が少ない）傾向となった。R2 宮崎 9 年生は 3.70~3.82 であり、R4 熊本 19 年生と近い値となった。

表 2.22 調査結果

区分	ID	DBH [cm]	樹高 [m]	乾燥重量 [kg]					T/R 率
				葉	枝	幹	地上部	地下部	
R4 熊本 19 年 (2022 試験時)	I	20.5	14.19	31.52	11.04	60.26	102.82	26.10	3.94
	II	18.0	13.27	15.43	5.74	44.84	66.02	16.73	3.95
	III	16.0	12.9	12.56	4.61	36.32	53.50	13.82	3.87
R2 熊本 17 年 (2020 試験時)	A	16.0	11.3	8.53	1.76	34.13	44.41	15.47	2.87
	D	13.0	10.65	9.28	1.94	22.09	33.30	11.13	2.99
R2 宮崎 9 年 (2020 試験時)	O	11.5	6.32	14.25	3.01	11.76	29.01	7.79	3.73
	J	10.0	7.44	10.73	2.27	10.92	23.92	6.46	3.70
	M	7.0	5.2	5.92	1.25	4.86	12.03	3.15	3.82

各部位の重量比を図 2.49 に示す。R2 宮崎 9 年生は樹冠がうっ閉する前で枯れ上がっておらず、葉の割合が多い。R2 熊本 17 年生は R4 熊本 19 年生と同一林分内で選定したもの（試験の実施時期が 2 年ずれているだけ）ではあるが、胸高直径が R4 より細く（図 2.48）、葉重量割合が低い傾向（図 2.49）がある。R4 年 19 年生は、胸高直径が林分の平均より太く葉重量割合も高い。

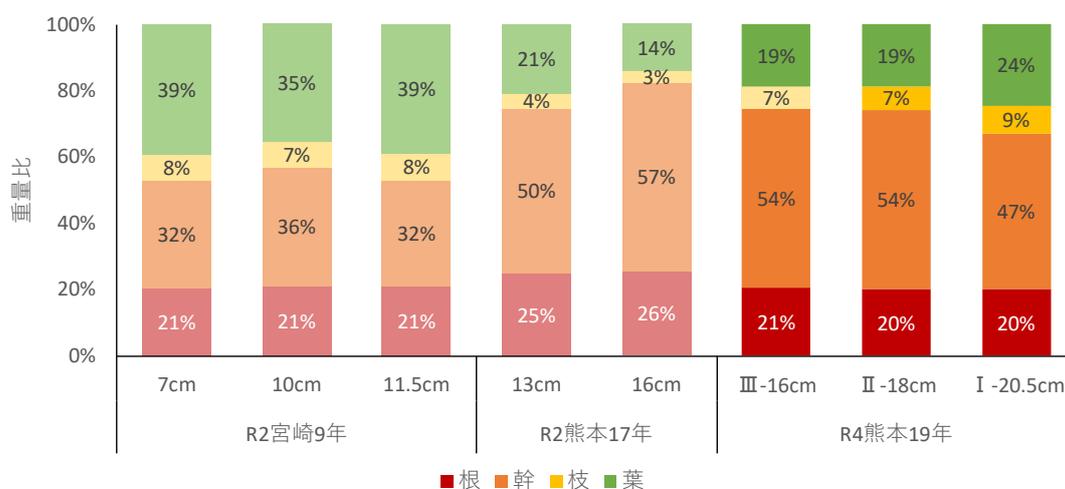


図 2.49 各部位の重量比

図 2.50 には W_r 算出にも使用している胸高直径から地上部重量および地下部重量を推定する苅住の式⁵より算出した T/R 率を併せて記載した。R4 熊本 19 年生の 3 本はいずれもこの T/R 率よりも高い値を示す。

$$\text{地上部推定式} \quad y_4 = 83.9143x^{2.3673} \quad (1)$$

$$\text{地下部推定式} \quad y_{11} = 29.0955x^{2.3015} \quad (2)$$

⁵ 苅住昇(2015) 森林の根系特性と構造, 鹿島出版会, 446pp.

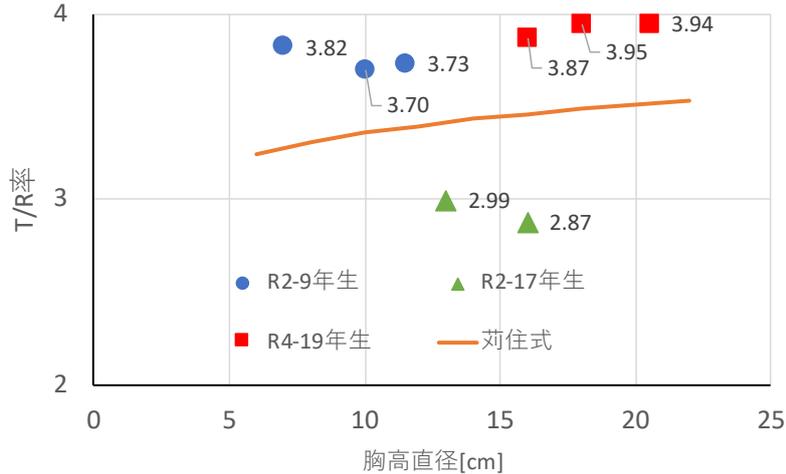


図 2.50 胸高直径と T/R 率の関係

菫住⁵は(1)、(2)式のもととなったオリジナルデータを書籍付属の CD-R で提供している。スギ 180 本分の菫住のオリジナルデータを使い、図 2.51 を作成した。

菫住のオリジナルデータに基づき T/R 率を計算し、胸高直径との関係を整理すると図 2.52 になる。胸高直径と地上部重量/地下部重量の散布図は図 2.51 のように高い相関をもつが、胸高直径と T/R 率は図 2.52 のように相関が低い。

菫住のデータは調査地が 5 県に分布するため、県別表記(図 2.52 の右図)でみると千葉の T/R 率がやや高く、宮崎や秋田が低い傾向にもみえるがそれほどの差はない。図 2.53 は T/R 率と林齢の関係だが、林齢と T/R 率も相関は低い結果となっている。

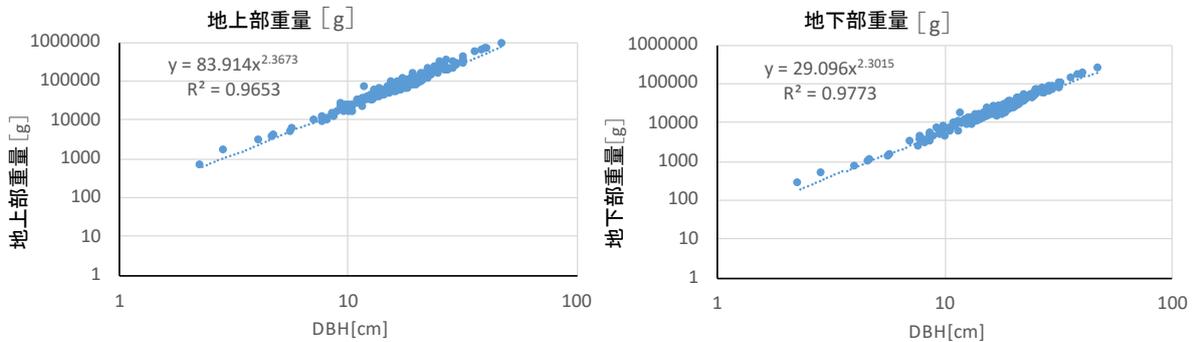


図 2.51 菫住のデータによるスギ胸高直径と地上部重量・地下部重量の関係

菫住のデータに今回計測したエリートツリーの T/R 率を加えた(図 2.54)。T/R 率は個体によるばらつきが大きいですが、エリートツリーの T/R 率は菫住のスギデータの上側にプロットされた個体が 6 本、下側にプロットされた個体が 2 本という結果である。やや T/R 率が大きい(地下部重量が少ない)個体が多いが、地下部重量が多い個体も存在することから、エリートツリーの根量は非エリートに比べて多いとも少ないともいえない結果である。

図 2.55 は林齢別に地下部重量の値を比較したもので、これをみるとエリートツリーの根量は非エリートと概ね同等の根量である、ということが出来る。

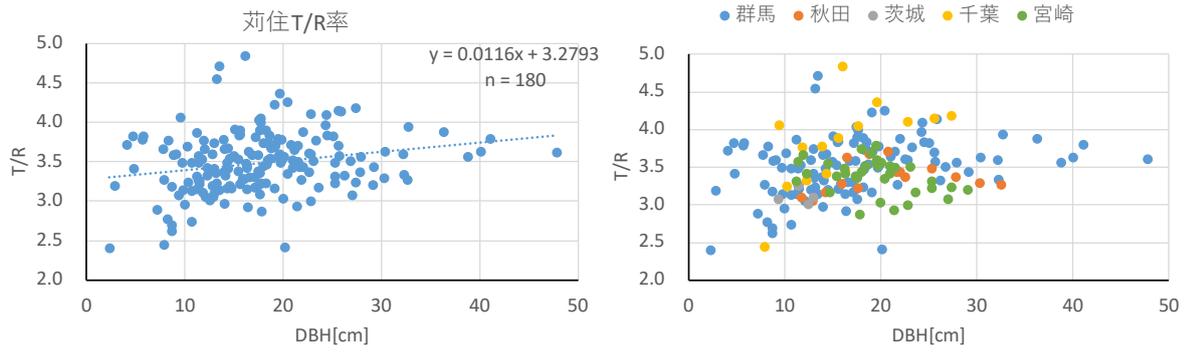


図 2.52 苜住のデータによる T/R 率と胸高直径 (右：調査地別で着色)

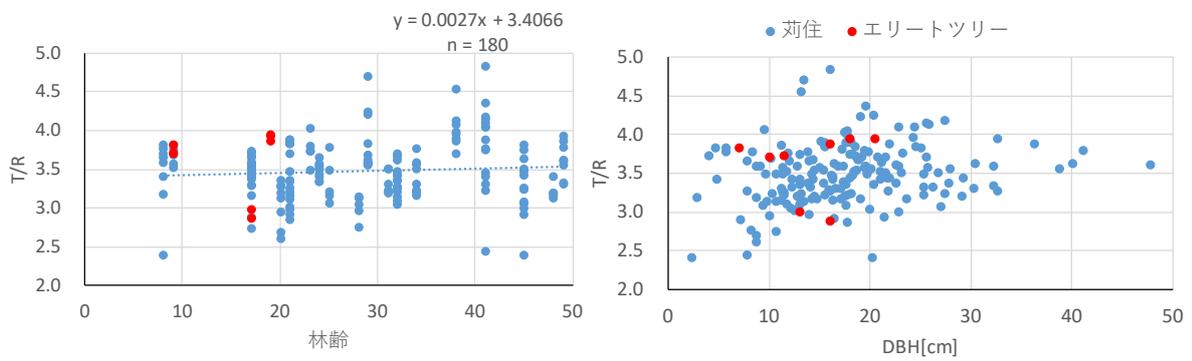


図 2.53 林齢と T/R 率の関係

図 2.54 苜住のデータとエリートツリー

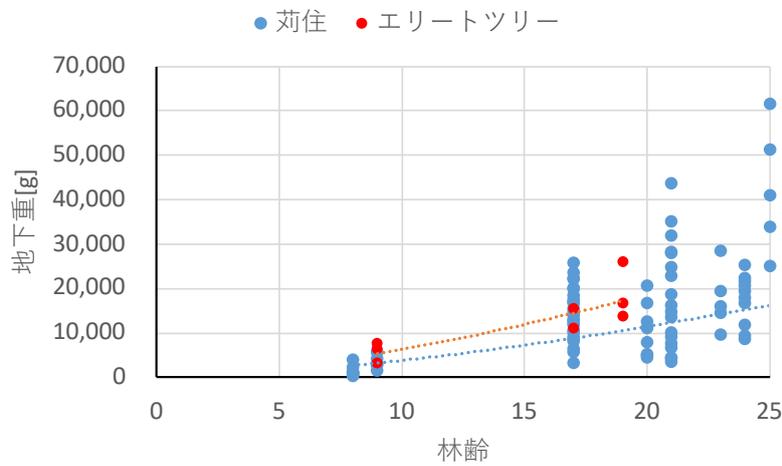


図 2.55 林齢別にみた地下部重量 (苜住のデータとエリートツリーの比較)

2.4 ガイドライン案の作成

【仕様書項目（1）④】

上記①～③で調査したデータ及び令和3年度まで本事業において検討した調査結果に基づき、樹木根系による崩壊防止メカニズムの考え方を整理し、表層崩壊防止機能を高度に発揮させるためのガイドライン（案）を作成する。

本事業の成果として、2.1～2.3の内容および過年度業務成果を再構成し、『森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に関するガイドライン（案）』を作成した。ガイドライン案の内容については、4章に記載される3回の検討委員会で審議をいただき、内容について了承をもらっている。

ガイドライン案本文は、資料編に全文を掲載した。

『森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に関するガイドライン（案）』

3. 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業務

森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能について、昨今の森林の状況や直近までの既往研究成果等を踏まえ、森林における表層崩壊防止メカニズムを解説した発信資料を作成する。

3.1 表層崩壊防止機能に係る既往の研究成果の整理等

【仕様書項目（2）①】

令和3年度に収集した研究成果等の整理を行い、解説に係る知見の組み立てを行うとともに、検討の結果、不足が生じた場合には必要な資料収集等を行う。

3.1.1 過年度までに収集された根系と崩壊に関わる研究

H30~R3年までの本事業で収集された、1990年以降に国内外で発表された崩壊と樹木根系に関する研究リストを表3.1、表3.2、表3.3に示す。

樹木根系と崩壊に関する研究は収集リストのように数多い。

根系と崩壊に関する国内文献と海外文献、また早生樹関連についても文献を収集している。

表 3.1 収集文献 (根系と崩壊の関係：国内文献)

番号	論文名	著者名	出典 (雑誌巻号)	掲載ページ	発行年
1	樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究	阿部和時	森林総合研究所研究報告第373号	105-181	1997
2	樹木根系の斜面崩壊防止機能	阿部和時	森林科学22	23-29	1998
3	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	阿部和時・黒川潮・竹内美次	日本地すべり学会誌41巻3号	225-235	2004
4	森林の持つ斜面崩壊防止機能	阿部和時	日本緑化工学会誌31(3)	330-337	2006
5	崩壊に強い森林とは	阿辻雅言	長野県林業総合センター技術情報148	6-11	2014
6	樹木根系の斜面崩壊防止効果に関する調査研究	今井久	ハザマ研究年報	34-52	2008
7	間伐が及ぼすヒノキ根系の崩壊防止機能への影響	今井裕太郎・小野裕・北原曜	日本森林学会大会学術講演集119巻		2008
11	スギ根系が持つ崩壊防止力の評価方法に関する研究	掛谷亮太・阿部和時・垂水秀樹・大澤光・森	第124回日本森林学会大会発表データペ		2013
12	原位せん断試験による森林の崩壊防止機能の考察	掛谷亮太・荒金達彦・村津匠・阿部和時・岡田	関東森林研究65-2		2014
13	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	掛谷亮太・瀧澤英紀・小坂泉・園原和夏・石垣	日本緑化工学会誌42(2)	299-307	2016
14	ケヤキ人工林の崩壊防止機能	神田誠也・北原曜・小野裕	日本森林学会大会学術講演集122巻		2011
15	森林根系の崩壊防止機能	北原曜	水利科学No.311	11-37	2010
16	水平根に着目した森林の土砂崩壊防止機能の評価について-治山事業は	木下篤彦	治山55巻5号	28-35	2010
18	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	執印康裕・鶴見和樹・松英惠吾・有賀一広・田	日本緑化工学会誌35(1)	9-14	2009
27	間伐が根系に及ぼす影響-長野県におけるカラマツ林の場合-	伴博史・北原曜・小野裕	日本森林学会大会講演要旨集120巻		2009
29	間伐がカラマツ人工林の崩壊防止機能に与える影響	伴博史・北原曜・小野裕	日本森林学会大会学術講演集121巻		2010
34	根系の引張り強度から推定した斜面安定効果に及ぼす樹木根系の効果(3)	阿部和時・岩元賢	日林誌67(12)	505-510	1986
35	樹木根系分布シミュレーションモデル-斜面安定解析への適応を考慮したモ	阿部和時・岩元賢	日林誌72(5)	375-387	1990
36	原位せん断試験によるスギ根系の斜面崩壊防止機能の研究	阿部和時	日本緑化工学会誌22(2)	95-108	1996
38	樹木根系の分布特性と斜面の保護・安定効果	阿部和時	緑化工技術10(3)	1-9	1984
39	樹木根系の変位を考慮した土のせん断抵抗力補強の解明	阿部和時	林業土木施設研究所報12	2-21	2009
44	スギ引き倒し試験における樹幹の曲げ応力分布	茅島信行・佐々木重行	九州森林研究No.64	98-101	2011
45	スギ試験林における引き倒し試験	茅島信行・佐々木重行	九州森林研究No.63	25-28	2010
46	斜面傾斜地における根系分布の偏りが引き倒し試験に与える影響	茅島信行・佐々木重行	森林立地52(2)	49-55	2010
50	樹木の斜面安定効果	駒村富士弥・渡辺武夫	日林誌59(9)	338-340	1977
55	原位せん断試験による樹木根系の崩壊抵抗力と引き抜き抵抗力の比	佐藤創・大谷健一・神原孝義・鳥田宏行	砂防学会誌VOL66-4	15-20	2013
56	冷温帯落葉広葉樹林の根系が斜面安定に及ぼす影響	佐藤創・大谷健一・神原孝義・鳥田宏行	砂防学会誌VOL62-4	29-37	2009
58	表層崩壊と森林	佐藤創	森林科学47	22-27	2006
60	異なる土壌環境下における根系構造と引き抜き抵抗力の関係	山瀬敬太郎・谷川東子・池野英利・藤堂千景	日本緑化工学会誌41(2)	301-307	2015
61	低木樹種2種の根系による崩壊防止力の検討	山瀬敬太郎・藤堂千景・平野泰弘	日本緑化工学会誌41(1)	15-20	2015
62	土壌水分変化が斜面表層土における根系の土質強度補強効果に与える影	執印康裕・加藤尚子・鈴木雅一・木田猛彦	砂防学会誌VOL51-1	23-30	1998
64	植生が表層崩壊に与える影響について	執印康裕	砂防学会誌VOL55-1	71-78	2002
69	山地急傾斜地におけるヒノキ単木周囲の崩壊防止力分布	神田誠也・北原曜・小野裕	中部森林学会第2回大会発表要旨集		2012
72	樹木根系の根張り抵抗力の理論的算定法	正野光範・中村浩之・池田浩子	砂防学会誌VOL50-5	3-11	1998
73	ゼロ容における水分環境・林相と災害発生との関係について	清水靖久・向山繁幸・戸田堅一郎	砂防学会誌VOL61-6	47-53	2009
81	斜面の基盤構造と樹木の斜面安定効果	塚本良則・峰松浩彦・城戸毅・小宮山浩司	緑化工技術 11-(1)	1-7	1984
83	樹木根系の斜面安定効果-主として水平根の量と動きについて-	塚本良則・峰松浩彦・藤波武史	緑化工技術 12-(1)	11-20	1986
87	樹木の根系による斜面崩壊防止機能	鳥田宏行・佐藤創	道徳研季報128	1-3	
88	間伐がスギの最大引き倒し抵抗モーメントに与える影響	藤堂千景・山瀬敬太郎・谷川東子・大橋瑞江	日本緑化工学会誌41(2)	308-314	2015
89	治山用緑化樹種の根系強度について	岡山正憲・原敏夫	緑化工技術 13-(2)	19-23	1988
91	樹種の違いによる樹木根系の引張り強度特性	福田耕司・大塚泰彦・杉山太宏・赤石勝	土木学会第57回学術講演会	29-30	2002
92	樹木根系の存在が森林土壌中の水分移動に与える影響	平松吉也・熊沢至朗	砂防学会誌VOL55-4	12-22	2002
99	スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討	木下篤彦・坂井佑介・大野亮一・田畑三郎・川	砂防学会誌VOL65-5	11-20	2013
100	樹木根系の水平根が発揮する断面抵抗力の計算モデル	木下篤彦・坂井佑介・大野亮一・田畑三郎・川	砂防学会誌VOL65-5	35-40	2013
101	樹幹引き倒しによる根張りの発生機構	野々太隆郎・林抽郎・川邊洋・本多潔・小藪	日林誌78(4)	390-397	1996
102	根系の引張り強度と曲げ強度から推定した樹木根系の斜面安定効果	野々太隆郎・林抽郎・川邊洋	日林誌75(5)	456-461	1994
113	災害に強い森林整備	北沢沢司			
120	樹木の根の引き抜き抵抗力による表層崩壊防止機能の評価方法に関する	掛谷亮太・瀧澤英紀・小坂泉・園原和夏・石垣	砂防学会誌VOL71-3	3-11	2018
135	根系の引き抜き抵抗力によるせん断補強強度の推定	阿部和時	日本緑化工学会誌16(4)	37-45	1991
144	2010年広島県庄原市豪雨災害で発生した斜面崩壊と地形・森林の関係(第	黒川潮・岡田康彦	砂防学会誌VOL67-3	14-21	2014
145	多様な森林における根系の崩壊防止力分布	北原曜・小野裕・阿辻雅言	地形37(4)	455-463	2016
147	森林管理と表層崩壊発生との関係について	執印康裕・鶴見和樹・松英惠吾・有賀一広・田坂聡明	SABO Vol.98	2-7	2009
151	森林植生による表層崩壊防止機能の評価に向けて	執印康裕			
151	鉄道防護林におけるケヤキ人工林の崩壊防止機能	神田誠也・北原曜・小野裕	中部森林研究59	199-202	2011
152	カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係	伴博史・北原曜・小野裕	中部森林研究59	195-198	2011
153	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	矢下誠人・北原曜・小野裕	中部森林研究59	203-206	2011
154	樹種による根系分布と引き抜き抵抗力の違い	久保田遼・北原曜・小野裕	中部森林研究55	123-126	2007
155	マダケ林の崩壊防止機能の評価	岩波定裕・北原曜・小野裕	中部森林研究55	127-130	2007
156	立木周囲の崩壊防止力の分布	神田誠也・北原曜・小野裕	中部森林研究60	117-120	2012
157	山地急傾斜地におけるヒノキ単木周囲の崩壊防止力	神田誠也・北原曜・小野裕	中部森林研究61	9-12	2013
158	広葉樹天然林における根系による崩壊防止力分布	阿辻雅言・北原曜・小野裕	中部森林研究62	99-102	2014
159	表層崩壊に及ぼすカラマツ根系の引き抜き抵抗力に関する力学的評価	久保田遼・北原曜・小野裕	中部森林研究54	191-193	2006
160	樹木根系による崩壊防止機能に及ぼす立木密度の影響	白井隆之・相馬健人・北原曜・小野裕	中部森林研究54	187-190	2006
161	土壌水分状態がヒノキ根系の引き抜き抵抗力に及ぼす影響	相馬健人・北原曜・小野裕	中部森林研究54	183-186	2006
162	林分における崩壊防止力二次元分布図の構築	阿辻雅言・北原曜・小野裕	中部森林研究61	13-16	2013
163	間伐後の経過年数による根系の崩壊防止機能の違い	今井裕太郎・北原曜・小野裕	中部森林研究56	269-272	2008
164	間伐がカラマツ根系の崩壊防止機能に及ぼす影響	伴博史・北原曜・小野裕	中部森林研究57	179-182	2009
165	若齢ヒノキ林における崩壊防止機能の力学的評価	永田惟人・小野裕・北原曜	中部森林研究58	183-186	2010
166	カラマツ根系に及ぼす間伐の影響	伴博史・北原曜・小野裕	中部森林研究58	179-182	2010
167	立木引き倒し試験による森林の土砂緩衝機能の力学的評価	深見悠矢・北原曜・小野裕	中部森林研究56	283-285	2008
168	愛知県伊良湖岬におけるクロマツ引き倒し試験	宮田賢・北原曜・小野裕	中部森林研究61	1-4	2013
169	アカマツの引き倒し抵抗力と模型実験による根張りメカニズム	高橋悠介・北原曜・小野裕・小野圭	中部森林研究62	91-93	2014
170	模型実験による樹木の根張りメカニズムの解明	高橋悠介・北原曜・小野裕	中部森林研究63	123-126	2015
171	津波緩衝機能を発揮する海岸林整備計画のためのアカマツ引き倒し試験	高橋悠介・北原曜・小野裕	中部森林研究61	5-8	2013
172	休耕田跡地に成立するカラマツ人工林における根系分布	小林健之・北原曜・小野裕	中部森林研究57	191-194	2009
173	林床に侵入する広葉樹根系の引き抜き抵抗力と単根引張り強度の関係	松下将大・小野裕・北原曜	中部森林研究57	183-186	2009
174	飽和条件下におけるヒノキ根系の引き抜き抵抗力	岩名祐・北原曜・小野裕	中部森林研究57	187-190	2009
175	ヒノキ根系の崩壊防止力に及ぼす間伐の影響	今井裕太郎・北原曜・小野裕	中部森林研究57	175-178	2009
176	スギ・ヒノキ・カラマツ・コナラ立木の引き倒し抵抗力	深見悠矢・北原曜・小野裕・宮崎隆幸・山内仁	中部森林研究57	195-198	2009
177	根系断面の顕微鏡画像を用いた引き抜き抵抗力の推定	岡田希・北原曜・小野裕	中部森林研究60	125-128	2012
178	常緑広葉樹を主とする生根の引張り強度試験	若杉祐希・北原曜・小野裕	中部森林研究60	129-132	2012
179	引き抜き試験時における根の破断位置の推定	奥中大智・北原曜・小野裕	中部森林研究62	87-90	2014

凡例

- 引き抜き抵抗力と崩壊防止機能
- 引き倒し抵抗力と土砂緩衝機能
- 研究成果の整理・まとめ・解説等

表 3.2 収集文献（根系と崩壊の関係：海外文献）

番号	論文名	著者名	ひらがな	出典 (雑誌巻号)	掲載 ページ	発行年
3001	Root-soil mechanical interactions during pullout and failure of root bundles	M. Schwarz, D. Cohen, and D. Or		JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115	1-19	2010
3002	Quantifying the role of vegetation in slope stability:A case study in Tuscany (Italy)	M. Schwarz, F. Preti, F. Giadrossich, P. Lehmann, D. Or		Ecological Engineering 36	285-291	2010
3003	Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes – from a bundle of roots to tree stands	M. Schwarz, P. Lehmann and D. Or		Earth Surf. Process. Landforms 35	354-367	2010
3004	Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences:Analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan	Hitoshi Saito , Wataru Murakami , Hiromu Daimaru , Takashi Oguchi		Geomorphology Volume 276	1-7	2017
3005	Long-term modelling of landslides for different forest management practices	Amod S. Dhakal, Roy C. Sidle		Earth Surface Processes and Landforms / Volume 28, Issue 8	853-868	2003
3006	Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan	Fumitoshi Imaizumi, Roy C. Sidle, Rieko Kamei		Earth Surface Processes and Landforms / Volume 33, Issue 6	827-840	2008

表 3.3 収集文献（早生樹関連）

番号	論文名	著者名	出典 (雑誌巻号)	掲載ページ	発行年
1001	センダン植栽木への施肥が成長に及ぼす影響	池本省吾	第129回日本森林学会大会発表データベ	—	2018
1002	施肥がセンダン苗木の成長に及ぼす影響	池本省吾	第128回日本森林学会大会発表データベ	—	2017
1003	京都府立大学大野演習林での早生樹センダンの植栽試験	糟谷信彦, 上田菜津美, 堀田耀介, 藤田夏子	第127回日本森林学会大会発表データベ	—	2016
1004	本州西部地域での早生樹センダンの植栽試験	糟谷信彦, 宮藤久士, 村田功二, 中村彰男, 横	第128回日本森林学会大会発表データベ	—	2017
1005	本州西部地域での早生樹センダンの造林成績	糟谷信彦, 宮藤久士, 村田功二, 中村彰男, 横	第129回日本森林学会大会発表データベ	—	2018
1006	センダン植栽木の初期成長と立地環境	高山勉, 山田範彦, 山瀬敬太郎	第129回日本森林学会大会発表データベ	—	2018
1007	関西地区における国産早生樹センダンの試験植林	村田功二, 内海真弓, 宮藤久士, 横尾謙一郎	第126回日本森林学会大会発表データベ	—	2015
1008	コウヨウザンの簡易収穫予想表の試作	山田浩雄, 近藤禎二, 大塚次郎, 磯田圭哉, 生	第129回日本森林学会大会発表データベ	—	2018
1009	コウヨウザンの所在地データベースの作成	山田浩雄, 安部波夫, 塙栄一, 大塚次郎, 磯田	第127回日本森林学会大会発表データベ	—	2016
1010	成長曲線を用いたコウヨウザンの材積成長過程の解析	山田浩雄, 近藤禎二, 磯田圭哉, 大塚次郎, 生	第128回日本森林学会大会発表データベ	—	2017
1011	平成29年度早生樹利用による森林整備手法検討調査委託事業報告書	林野庁	—	—	2017
1012	コウヨウザン林における土砂流出量の変化	渡辺靖崇, 鈴木保志, 涌嶋智, 坂田勉, 東敏生	第129回日本森林学会大会発表データベ	—	2018

3.1.2 根系が発揮する表層崩壊防止機能

森林が発揮する表層崩壊防止機能は、おもに根系が担うものと理解されている。ここでは、根系が発揮する表層崩壊防止機能についてこれまでの研究成果を3つのグループに分類して、それぞれの特徴を記す。

なお、以降の(1)～(3)の項目立てと表3.4～表3.6に掲げる文献リストは、森林・自然環境技術教育研究センターが作成した報告書¹の構成をそのまま使わせていただいた。

(1) 垂直根による杭効果と水平根によるネット効果

塚本ら(1984)が根を水平方向と垂下方向に伸長したものに分類し、それぞれの根が発揮する補強効果を定量評価する研究を発表した。塚本以降、垂直根(鉛直根、垂下根という場合もある)と水平根、それぞれに分けて検討する方向に研究が細分化していった。

それまでは垂直根による斜面安定効果が論じられることが多かったが、塚本以降は水平根の働きに着目した研究が増える。白井ら(2006)や今井ら(2008)、木下ら(2013)が水平根の分布を調査し、水平根が斜面安定へ寄与している事が報告されている。

一般に垂直根は不動層と移動層に挟まれたすべり面(せん断域)で『杭効果』を発揮するといわれ、そのメカニズムは図3.1に示すとおりである。根がすべり面(せん断域)で抵抗体として作用し、根が伸長する接線方向の摩擦力とそれに直交する法線方向の締付力増加による摩擦抵抗増加の2種類の補強力となる。

水平根のネット効果については根同士が互いに絡み合い、土塊の動きを抑制する効果、といったやや漠然としたイメージで捉えられていたが、塚本ら(1984)がこれを定量評価するためのアプローチを提案した。その概略を2.2.1で紹介している。

表 3.4 垂直根と水平根に関する研究成果

(文献番号は2章の表3.1記載の番号に対応)

番号	論文名	著者名	出典 (雑誌巻号)	掲載 ページ	発行年
81	斜面の基盤構造と樹木の斜面安定効果	塚本良則・峰松浩彦・城戸毅・小宮山浩司	緑化工技術11-(1)	1-7	1984
160	樹木根系による崩壊防止機能に及ぼす立木密度の影響	白井隆之・相馬健人・北原曜・小野裕	中部森林研究54	187-190	2006
163	間伐後の経過年数による根系の崩壊防止機能の違い	今井裕太郎・北原曜・小野裕	中部森林研究56	269-272	2008
99	スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討	木下篤彦・坂井佑介・大野亮一・田畑三郎・川島正照・山崎孝成	砂防学会誌VOL65-5	11-20	2013
170	模型実験による樹木の根返りメカニズムの解明	高橋悠介・北原曜・小野裕	中部森林研究63	123-126	2015
120	樹木の根の引き抜き抵抗力による表層崩壊防止機能の評価方法に関する研究	掛谷亮太・瀧澤英紀・小坂泉・園原和夏・石垣逸朗・阿部和時	砂防学会誌VOL71-3	3-11	2018

¹ (公社)森林・自然環境技術教育研究センター、公益的機能発揮のための森林整備のあり方に関する調査研究、令和2年度報告書、令和3年6月、URL: <http://www.jafee.or.jp/plan/files/2021-12-01-koeki-kino-haki-no-shinrin-seibi.pdf>

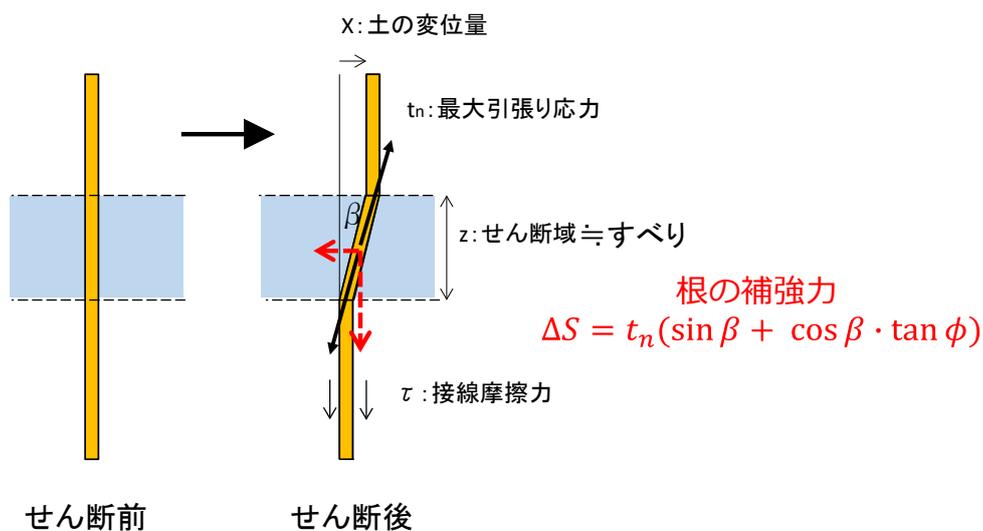


図 3.1 杭効果による根系の補強メカニズム (阿部 2019) ²

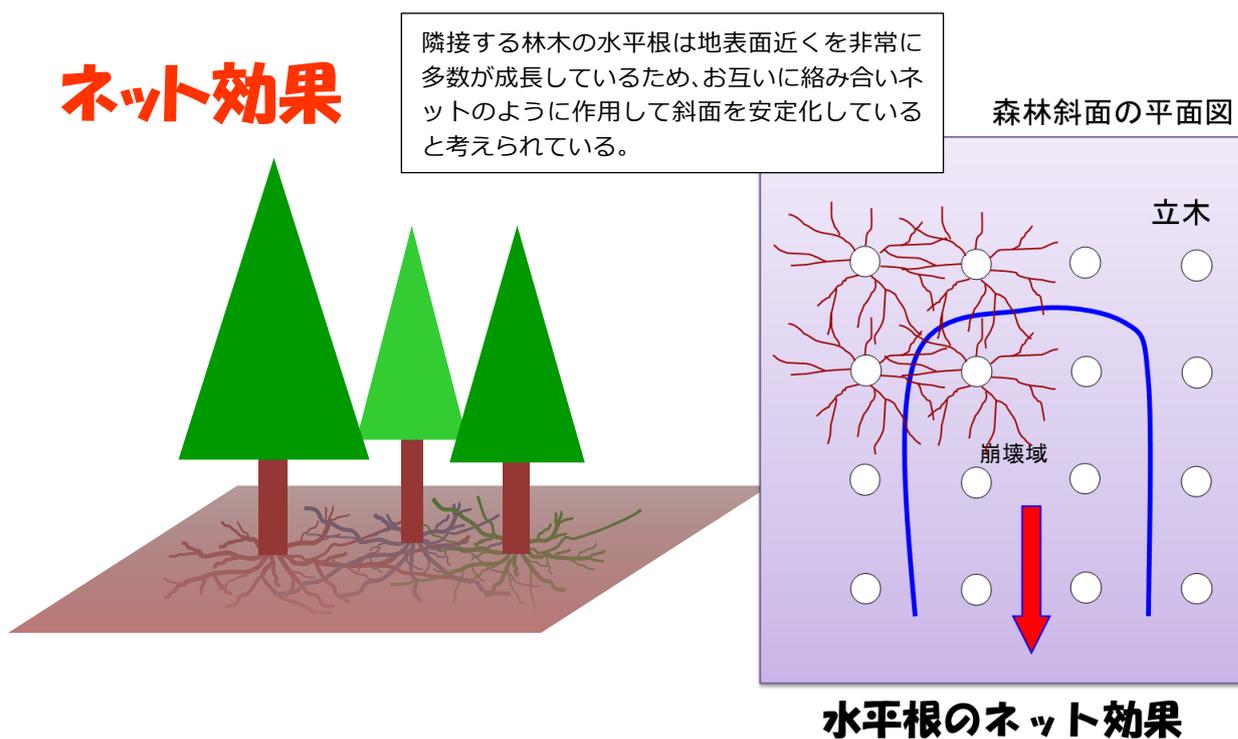


図 3.2 水平根が発揮するネット効果のイメージ (阿部 2019) ²

² 阿部和時「豪雨災害でみられる森林が持つ表層崩壊防止機能とそのメカニズムに関する研究動向」GT フレーム工法技術講習会 (2019.6.24) 発表資料

(2) 針葉樹と広葉樹、針葉樹人工林と針葉樹天然林

主要造林樹種であるスギ、ヒノキの根系抵抗力に関してはこれまでに多くの研究が実施されてきた。一方で広葉樹根系の力学的評価は十分な研究が蓄積されているとはいえない。特に、人工林に広葉樹が侵入し針広混交となった場合の広葉樹根系は考慮されない場合がほとんどで、現時点でその補強効果は未解明といつてよい。

広葉樹の根系自体の強さに関する調査は、信州大学の北原研究室が精力的に取り組み、松下ら（2009）がウワミズザクラ、ミズキ、リョウブ、コナラ、カスミザクラ、ウリハダカエデ、ヒトツバカエデの7樹種を対象に断面直径と引き抜き抵抗力の関係を明らかにした。同様に矢下ら（2011）はミズナラ、コナラを、神田ら（2011）はケヤキを対象に調査し、ケヤキは他樹種と比較してかなり高い崩壊防止力が得られることを示した。

また、北海道立林業試験場の佐藤ら（2009）は寒冷地の天然落葉広葉樹林（イタヤカエデ、ミズナラ、シナノキなど）を対象に、せん断面上での根の引き抜き抵抗を推定し、ヤンプ法を用いて斜面の安全率を算出している。

広葉樹に関する崩壊防止力の研究はいまだ調査事例が十分とはいえず、特に混交林での評価をどうするかは課題である。今後、下層林としての広葉樹根系の補強効果をどう評価するのか、特に複層林での崩壊防止力を評価するという視点から重要となってくる。

表 3.5 広葉樹に関する研究成果

(文献番号は2章の表 3.1、表 3.2、表 3.3 記載の番号に対応)

番号	論文名	著者名	出典 (雑誌巻号)	掲載 ページ	発行年
56	冷温帯落葉広葉樹林の根系が斜面安定に及ぼす影響	佐藤創・大谷健一・神原孝義・鳥田宏行	砂防学会誌VOL62-4	29-37	2009
173	林床に侵入する広葉樹根系の引き抜き抵抗力和単根引張強度の関係	松下将大・小野裕・北原曜	中部森林研究57	183-186	2009
14	ケヤキ人工林の崩壊防止機能	神田誠也・北原曜・小野裕	日本森林学会大会学術講演集122巻		2011
31	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	矢下誠人・北原曜・小野裕	中部森林研究59	203-206	2011

(3) 森林の表層崩壊防止機能の限界

森林の表層崩壊防止機能の有効性は多くの研究により明らかにされているが、当然ながらその機能には限界があり、すべての崩壊に対応できるものではない。

表 3.6 森林の限界に関する研究成果

(文献番号は 2 章の表 3.1、表 3.2、表 3.3 記載の番号に対応)

番号	論文名	著者名	出典 (雑誌巻号)	掲載 ページ	発行年
15	森林根系の崩壊防止機能	北原曜	水利科学 No.311	11-37	2010

北原 (2010) は、森林根系の崩壊防止機能を明らかにすることは、とりもなおさず限界を知ることであり、この機能には限界があることは崩壊が現に起きていることから予想がつくが、では果たして限界の値はいったいどのくらいかという点は明らかにされていないと言及している。

p I -2 ページで紹介した治山技術基準においては、「深層崩壊に対して樹木根系の影響は直接的にはない」、と明記されている。深層崩壊と根系についてのこうした理解は一般にも浸透している。一方で深さが 1~2m 程度の崩壊は深層崩壊ではなく、表層崩壊に分類される。表層崩壊すべてに根系が有効かといえ、平成 25 年の伊豆大島で発生した崩壊をみると、そうもいえないことが分かる。伊豆大島の表層崩壊に関する報告³を以下に引用するが、伊豆大島の場合は、根系が基盤内に侵入し土層の引き留め効果を発揮できたかという、非常に厳しい条件であったといわざるをえない。

■平成 25 年伊豆大島で発生した崩壊の概要 (曾根ら 2015³ より引用)

- ・ 深度 1m 程度の表層崩壊で、レス層上面をすべり面とする。
- ・ 植生はハチジョウイヌツゲ、ヒサカキなどの常緑樹やオオバヤシャブシなどの落葉樹が優占
- ・ 樹木根系は火山砂層中のみに伸長しているものがほとんどで、レス層にまでは伸長していない。
- ・ そのため、今回の表層崩壊に対しては緊縛効果がほとんど発揮されなかった。
- ・ 防災機能を高める群落を形成するには、直根を伸ばす方法、適正な樹種選定、生育基盤の確保が重要

³ 曾根好徳・飛田健二・寺田悠祐・上野将司・浅見和弘・野並賢・沖津二郎・矢部満 (2015) : 平成 25 年台風第 26 号による伊豆大島火山山麓における表層崩壊の発生機構、応用地質技術年報、34、p.1-22.

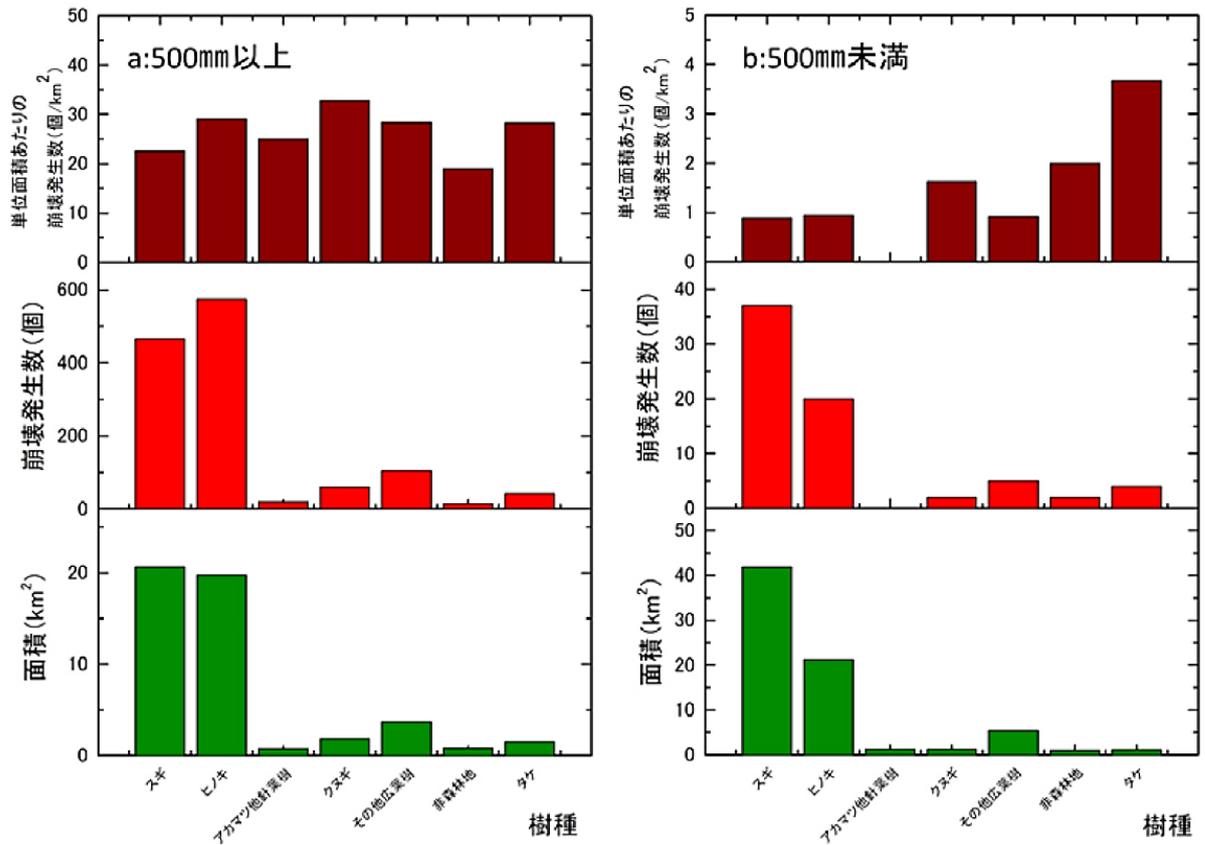


写真：伊豆大島の斜面崩壊地と、それに隣接する森林

また、平成 29 年九州北部豪雨、平成 30 年 7 月豪雨では、森林が存在する多くの斜面で崩壊が発生し、一定規模以上の豪雨時には森林による崩壊防止機能では崩壊を抑止できないことが分かった。

図 3.3 は、村上 2018⁴ が平成 29 年九州北部豪雨の雨量データと崩壊面積率を解析したもので、雨量が 500mm 未満と 500mm 以上の地域を比較している。植生の種別等に関係なく、雨量が 500mm を超えた地域では崩壊が多数発生していて、村上は「500mm 以上の降雨のエリアでは森林、非森林地に関係なく、崩壊が発生したことが示された」と推定している。この事例では森林による表層崩壊防止機能の限界は雨量 500mm 付近がしきい値であったといえることができる。

森林の限界となる雨量は、地域や環境によって変化すると考えられ、雨慣れしている地域はより高く、そうでない地域はより小さい雨量になると推測される。いずれ、森林による表層崩壊防止機能を議論するときは、必ず限界があるという点に留意しておかねばならない。



a: レーダー解析降水量の12時間積算値が500mm以上のエリア

b: レーダー解析降水量の12時間積算値が500mm未満のエリア

図 3.3 樹種ごとの存在面積と崩壊発生数および単位面積あたりの崩壊発生数 (村上 2018) ⁴

⁴ 村上亘・鶴崎幸・安田幸生・大丸裕武 (2018): 2017年7月九州北部豪雨における斜面崩壊と雨量分布および植生状況との関係について、防災科学技術研究所研究資料第418号、2018年3月、p.131-134.

3.2 表層崩壊防止機能に係る解説資料（案）の作成

【仕様書項目（2）②】

①の調査結果に基づき、専門知識を有さない者でも内容についての理解が容易になるよう、文章表現、レイアウト等を含め適切かつ効果的な表層崩壊防止機能に係る解説資料（案）を作成する。

解説資料案については、検討委員会メンバーを中心とする下記の先生方に執筆を依頼した。

・執筆者（解説資料案）

阿部和時
執印康裕
大丸裕武
山瀬敬太郎
落合博貴

先生方からの原稿を事務局で預かり、構成、章節項、字句体裁等を整えた。

解説資料案の本文は、資料編付録に全体を掲載した。

3.3 表層崩壊防止機能に係るパンフレットの作成

【仕様書項目（2）③】

上記②の解説資料（案）に基づき、表層崩壊防止機能について一般者向けにわかりやすいパンフレットを作成する。

製本は、カラー、A4版、横書き、両面、中綴じ製本とし、用紙はグリーン購入法適合用紙を用いること。なお、その他の詳細については、林野庁担当者との相談の上、決定すること。

3.3.1 パンフレットの作成

解説資料案の目次および先生方に承認いただいたガイドライン案の内容を基に、一般の方向けに平易で理解しやすい記述・構成を考えた上で、パンフレット「森林の根系が持つ表層崩壊防止機能」を作成した。

パンフレットの内容について、令和5年2月16日に開かれた第3回検討委員会で審議いただき、修正指摘事項等を反映させた。

パンフレットはオモテ・ウラ表紙を含め、全8枚で中綴じ製本とした。用紙はグリーン購入法適合用紙を用いた。

パンフレット全8ページの内容は資料編付録に掲載した。印刷物はA3見開きで印刷されているが、ここではA4サイズに分割された形となる。

3.3.1 パンフレットの送付

発注者指示に基づき、作成したパンフレットは下記都道府県に各500部、治山課（本館7F ドア No.773）に200部納品した。全部で $500 \times 47 + 200 = 23700$ 部である。

北海道庁治山課	石川県庁森林管理課	岡山県庁治山課
青森県庁林政課	福井県庁森づくり課	広島県庁森林保全課
岩手県庁森林保全課	山梨県庁治山林道課	山口県庁森林整備課
宮城県庁森林整備課	長野県庁森林づくり推進課	徳島県庁森林整備課
秋田県庁森林整備課	岐阜県庁森林保全課	香川県庁みどり整備課
山形県庁森林ノミクス推進課	静岡県庁森林保全課	愛媛県庁森林整備課
福島県庁森林保全課	愛知県庁森林保全課	高知県庁治山林道課
茨城県庁林業課	三重県庁治山林道課	福岡県庁農村森林整備課
栃木県庁森林整備課	滋賀県庁森林保全課	佐賀県庁森林整備課
群馬県庁森林保全課	京都府庁森の保全推進課	長崎県庁森林整備室
埼玉県庁森づくり課	大阪府庁森づくり課	熊本県庁森林保全課
千葉県庁森林課	兵庫県庁治山課	大分県庁森林保全課
東京都庁森林課	奈良県庁森林資源生産課	宮崎県庁自然環境課
神奈川県庁森林再生課	和歌山県庁森林整備課	鹿児島県庁森づくり推進課
新潟県庁治山課	鳥取県庁治山砂防課	沖縄県庁森林管理課
富山県庁森林政策課	島根県庁森林整備課	

4. 検討委員会の開催

【仕様書項目（3）】

上記(1)及び(2)について、本事業の目的を効果的かつ効率的に達成できるよう検討を行うため、学識経験者4名以上からなる検討委員会を設置することとし、林野庁担当職員と調整の上で決定すること。また、検討委員会は本事業期間中3回開催すること。

本事業では第1回～第3回委員会を以下の日程で執り行った。

委員会議事録、速記録、委員会資料等の詳細については、資料編に掲載した。

表 4.1 検討委員会の実施

回	開催日	検討内容
第1回	8月5日	・調査目的、森林整備の優先順の考え方、森林整備手法の具体内容、ガイドライン案作成方針、解説資料案作成方針の審議、指導
	11月1日	・熊本現地検討会
第2回	12月9日	・ガイドライン案ドラフトの審議、指導 ・解説資料案ドラフトの審議、指導
第3回	2月16日	・ガイドライン案の承認 ・解説資料案の原稿確認

5. 報告書のとりまとめ

【仕様書項目（4）】

上記(1)、(2)及び(3)の内容や経緯等を本事業の成果として報告書にとりまとめること。

本報告書および別途資料編と付録を作成した。

令和4年度
森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす
効果等に関する検討調査

資 料 編

令和5年3月
林野庁治山課

目次

1. 委託事業仕様書	1
2. 現地調査	4
2.1 エリートツリー調査木の諸元.....	4
2.2 調査写真	5
2.2.1 作業状況	5
2.2.2 調査樹木	10
3. 検討委員会	16
3.1 委員会構成	16
3.2 委員会の開催	16
3.3 議事録	16
3.4 委員会指摘事項への具体的な対応.....	32
3.5 速記録	39
3.6 委員会資料	39
4. 森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に 関するガイドライン（案）	40

1. 委託事業仕様書

令和4年度山地保全調査(森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査) 委託事業再変更仕様書

1 件名

令和4年度山地保全調査（森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査）
委託事業

2 目的

これまで森林と表層崩壊の関係については、森林が崩壊箇所数や崩壊頻度、崩壊面積を減少させていることが統計的に証明されているものの、表層崩壊防止機能と森林整備との関係については研究事例が少なく、崩壊防止機能を高めるための森林整備手法の確立までには至っていない。

表層崩壊防止機能と本数調整伐等の森林整備の関係については、伐採された樹木の根の腐朽による根の引き抜き抵抗力の低下や本数調整伐による根系の成長量の増加などの研究は行われているが、十分な知見は得られていない状況にある。

一方、水土保持機能が低下した過密な人工林等を対象に治山事業による森林整備を進めているが、近年、表層崩壊に伴う流木が全国各地で発生しており、平成29年に九州北部で発生した豪雨災害では人工林において大きな被害が発生している。

このような被害を軽減するため、特に0次谷や山地災害危険地区等、山腹崩壊の発生するおそれの高い箇所においては、事前防災の観点から、治山事業により表層崩壊防止機能や土砂流出防止機能等を高める森林整備を積極的に行っていく必要がある。

このため、樹木根系による表層崩壊防止機能に関する調査を行い、早生樹等の活用など最新の造林技術の導入等についても視野に入れた表層崩壊防止機能に着目した森林整備手法について検討を行い、治山事業による森林の水土保持機能を高める手法を検討する。

3 技術要件

本事業の実施に当たっては、技術士（森林分野）又は林業技士を配置すること。また、指導とりまとめの業務の一部を技術士（森林分野）又は林業技士が所属する者に委託し又は請負わせる場合は、そのことが確認できること。

4 内容

本事業の目的を達成するため、令和4年度においては以下の事項を実施する。

(1) 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査

① 森林整備の優先順の決め方

土砂崩壊防止機能の発揮が求められる林分について、地形条件、保全対象、山地災害発生の危険度等、複数の観点を総合的に勘案して当該機能が相対的に低い林分を抽出することにより、森林整備の優先順を設定する方法について検討する。

② 森林整備手法の具体の検討

森林整備手法における幅広い選択肢、オプションを提示する観点から、現地の多様な条件を踏まえた施業内容を検討する。

③ 現地調査

九州森林管理局熊本森林管理署管内における熊野岳国有林159と1林小班のスギ単層林（エリートツリー）の造林地において現地調査を実施する。

調査対象木は3本とし、調査項目についてはT/R率を求めるため、地上部情報（クローネ着葉部を3分割し、枝部の幹重量と葉の重量について調査）調査及び地下部測定（1cm程度以上の根と1cm未満の根を分別し、根の総重量を測定）調査とする。

なお、調査地や調査項目については、現地の状況や検討委員会の結果等により変更できるものとする。

④ ガイドライン案の作成

上記①～③で調査したデータ及び令和3年度まで本事業において検討した調査結果に基づき、樹木根系による崩壊防止メカニズムの考え方を整理し、表層崩壊防止機能を高度に発揮させるためのガイドライン（案）を作成する。

(2) 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業務

森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能について、昨今の森林の状況や直近までの既往の研究成果等を踏まえ、森林における表層崩壊防止のメカニズムを解説した発信向けの資料を作成するために必要な次の①～③を行う。

① 表層崩壊防止機能に係る既往の研究成果の整理等

令和3年度に収集した研究成果等の整理を行い、解説に係る知見の組み立てを行うとともに、検討の結果、不足が生じた場合には必要な資料収集等を行う。

② 表層崩壊防止機能に係る解説資料（案）の作成

①の調査結果に基づき、専門知識を有さない者でも内容についての理解が容易になるよう、文章表現、レイアウト等を含め適切かつ効果的な表層崩壊防止機能に係る解説資料（案）を作成する。

③ 表層崩壊防止機能に係るパンフレットの作成

上記②の解説資料（案）に基づき、表層崩壊防止機能について一般者向けに分かりやすいパンフレットを作成する。

製本は、カラー、A4版、横書き、両面、中綴じ製本とし、用紙はグリーン購入法適用紙を用いること。なお、その他の詳細については、林野庁担当者と相談の上、決定すること。

(3) 検討委員会の開催

上記(1)及び(2)について、本事業の目的を効果的かつ効率的に達成できるよう検討を行うため、学識経験者4名以上からなる検討委員会を設置することとし、林野庁担当職員と調整の上で決定すること。また、検討委員会は本事業期間中3回開催すること。

(4) 報告書のとりまとめ

上記(1)、(2)及び(3)の内容や経緯等を本事業の成果として報告書にとりまとめること。

5 契約期間

契約締結日から令和5年3月17日まで

6 成果品

(1) 納入物品

① 調査報告書 5部 (A4版カラー)

② 電磁記録媒体 (DVD-R) 5部

納入する電磁記録媒体については、ウイルスチェックを行い、ウイルスチェックに関する情報 (ウイルス対策ソフト名、定義ファイルのバージョン、チェック年月日等) を記載したラベルを添付して提出すること。

③ パンフレット (製本版) 23, 700部

(2) 納入場所

上記(1)①及び(1)②については、林野庁森林整備部治山課 (本館7階ドア No.本773)

上記(1)③については、各都道府県庁へ500部、林野庁森林整備部治山課 (本館7階ドア No.本773) へ200部

7 その他

(1) 受託者は、本事業の進行状況等を毎月1回以上 (月末まで) 報告するほか、林野庁担当者の求めに応じて報告を行うこと。

(2) 林野庁担当者は、本事業の進行状況に対して事業の目的を達成するため必要な指示ができるものとし、受託者はこの指示に従うこと。

(3) 受託者は、本事業の実施に当たって再委託を行う場合には、事前に支出負担行為担当官林野庁長官に承認を得ること。

(4) 受託者は、本事業により知り得た情報については、契約期間中はもとより、契約期間終了後においても外部に漏らしてはならないこと。

(5) 林野庁担当者と受託者は、本事業の目的を達成するため、本仕様書に明示されていない事項で必要な作業が生じたときは協議を行うこと。

(6) 本事業における人件費の算定に当たっては、別添の「委託事業における人件費の算定等の適正化について」に従って行うものとする。なお、発注者は受諾者から提出された人件費の算定について確認するため、原則として人件費単価表 (受諾者が組織として人件費単価を定めている場合) 又は実際に従事する (した) 者の給与明細を確認する。

2. 現地調査

2.1 エリートツリー調査木の諸元

九州森林管理局熊本森林管理署管内における熊野岳国有林159と1林小班のスギ単層林(エリートツリー)の造林地において現地調査を実施した。調査木の諸元を表3.1に示す。なお、令和2年度に実施したエリートツリー調査結果もまとめて整理した。

表 3.1 エリートツリー調査木諸元

調査時樹木番号	管理署・支署	所在地	林班	検定林名	ブロック	調査年	植栽年	樹齢	品種名	胸高直径[cm]	胸高断面積[cm ²]	胸高[m]	生枝下高[m]	樹冠長さ	材積量[m ³]
M	宮崎森林管理署都城市支署	宮崎県えびの市	黒原国有林3017ほ	九熊本第162号	5	令和2年	2012	9	九育2-63	7.0	38.5	5.20	0.30	94%	0.011
J	宮崎森林管理署都城市支署	宮崎県えびの市	黒原国有林3017ほ	九熊本第162号	4	令和2年	2012	9	九育2-18	10.0	78.5	7.44	0.50	93%	0.031
O	宮崎森林管理署都城市支署	宮崎県えびの市	黒原国有林3017ほ	九熊本第162号	5	令和2年	2012	9	九育2-63	11.5	103.9	6.32	0.50	92%	0.033
D	熊本森林管理署	熊本県玉名市	熊野岳国有林159と1	九熊本第147号	3	令和2年	2004	17	九育2-152	13.0	132.7	10.65	5.00	53%	0.074
A	熊本森林管理署	熊本県玉名市	熊野岳国有林159と1	九熊本第147号	2	令和2年	2004	17	九育2-99	16.0	201.1	11.30	6.90	39%	0.116
III	熊本森林管理署	熊本県玉名市	熊野岳国有林159と1	九熊本第147号	2	令和4年	2004	19	九育2-130	16.0	201.1	12.90	7.10	45%	0.134
II	熊本森林管理署	熊本県玉名市	熊野岳国有林159と1	九熊本第147号	3	令和4年	2004	19	九育2-103	18.0	254.5	13.27	8.80	34%	0.171
I	熊本森林管理署	熊本県玉名市	熊野岳国有林159と1	九熊本第147号	2	令和4年	2004	19	九育2-145	20.5	330.1	14.19	8.30	42%	0.232

調査時樹木番号	乾燥前重量[kg]										乾燥後重量[kg]					T/R率
	枯葉	枝	葉	枝	幹	根	根	根	根	根	地上部合計	根	根	根	地下部合計	
M	なし	なし	16.00	3.68	13.50	5.50	2.00	5.920	1.251	4.860	12.031	2.310	0.840	3.150	3.82	
J	なし	なし	29.00	6.67	30.33	12.89	2.50	10.730	2.268	10.919	23.917	5.414	1.050	6.464	3.70	
O	なし	なし	38.50	8.86	32.66	14.04	4.50	14.245	3.011	11.758	29.013	5.897	1.890	7.787	3.73	
D	2.00	1.00	25.50	5.23	63.10	17.40	9.10	7.755	1.438	22.085	33.298	7.308	3.822	11.130	2.99	
A	1.67	0.83	23.67	4.79	97.50	22.83	14.00	7.260	1.346	34.125	44.415	9.589	5.880	15.469	2.87	
III	1.510	3.280	28.150	6.200	102.610	16.260	11.298	11.373	2.030	36.324	53.496	4.293	3.218	13.820	3.87	
II	3.150	3.090	32.060	9.200	126.680	22.560	14.016	12.952	3.927	44.845	66.019	5.326	2.649	16.729	3.95	
I	5.050	6.680	68.180	16.600	170.215	39.280	18.661	27.545	4.135	60.256	102.821	7.091	3.773	26.105	3.94	

2.2 調査写真

2.2.1 作業状況



作業状況 (2)



地上部 (枯葉)



地上部 (枯枝)



地上部 (生葉)



地上部 (生枝)



地上部 (幹)



生重量計測

作業状況 (3)



生重量計測



樹木部位 (地下部), 土付現地測定



地下部土付現地測定



サンプル根の洗浄 (根株)



サンプル根の洗浄 (太根)



サンプル根の洗浄 (細根 1cm 以下)

作業状況 (4)



乾燥作業



乾燥作業



乾燥後 (幹)



乾燥後 (生枝)



乾燥後 (生葉)



乾燥後 (枯枝)

作業状況 (5)



乾燥後 (枯葉)



乾燥後 (根株)



乾燥後 (太根)



乾燥後 (細根)

2.2.2 調査樹木

樹木番号 I

地上部写真



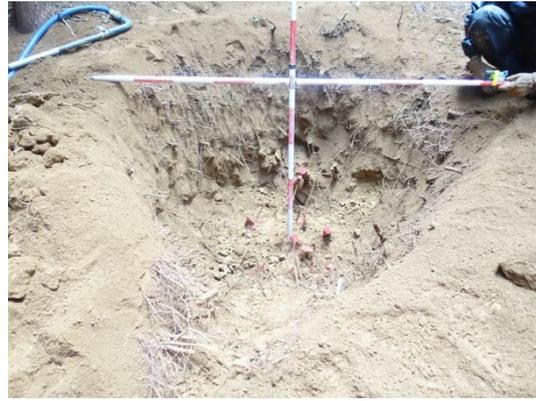
地下部写真



根張り



根株



掘削径



掘削完了



最大深度部

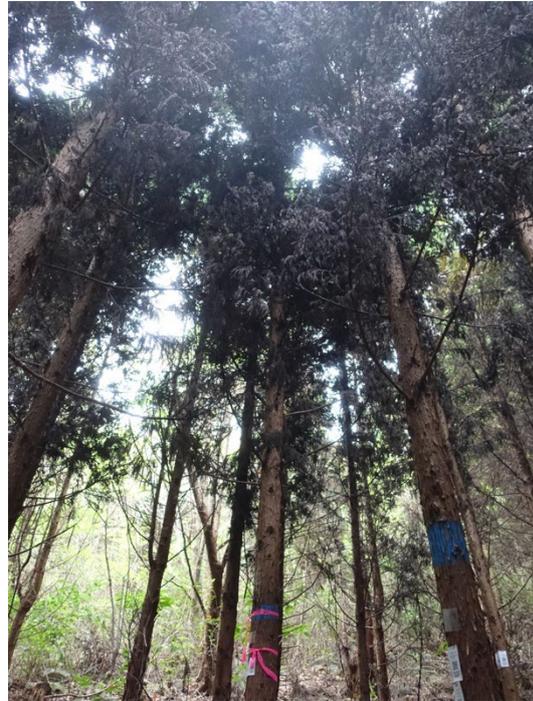


深度方向



掘上げた根株

地上部写真



地下部写真



根張り



根株



最大深度部



掘削径



深度方向

地上部写真



地下部写真



根張り



根株



最大深度部



掘削径



根株掘り取り後



掘削完了



掘削完了 深度方向

3. 検討委員会

3.1 委員会構成

本事業の検討委員会は下記専門家4名より構成される。

	氏名	区分	所属
委員 (座長)	あべ かずとき 阿部 和時	学識経験者	日本大学生物資源科学部 特任教授
委員	しゅういん やすひろ 執印 康裕	学識経験者	九州大学農学研究院 教授
	だいまる ひろむ 大丸 裕武	学識経験者	石川県立大学環境科学科 教授
	やませ けいたろう 山瀬 敬太郎	学識経験者	兵庫県森林林業技術センター 主席研究員

3.2 委員会の開催

表 検討委員会の実施

回	開催日	検討内容
第1回	8月5日	・調査目的、森林整備の優先順の考え方、森林整備手法の具体 内容、ガイドライン案作成方針、解説資料案作成方針の審議、 指導
	11月1日	・熊本現地検討会
第2回	12月9日	・ガイドライン案ドラフトの審議、指導 ・解説資料案ドラフトの審議、指導
第3回	2月16日	・ガイドライン案の承認 ・解説資料案の原稿確認

3.3 議事録

第1回、第2回、第3回委員会の議事録を掲載する。

(1) 第1回委員会議事録

<第1回委員会議事録 1 of 6>

第1回							項	1/1	
発注者側	監督職員	担当者	担当者	担当者			管理技術者	担当者	担当者
						受注者側			
発注者名	林野庁森林整備部治山課					受注者	国土防災技術株式会社		
業務名	令和4年度 森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査					整理番号			
出席者	委員	日本大学 阿部和時 九州大学 執印康裕 石川県立大学 大丸裕武(web) 兵庫県森林林業技術センター 山瀬敬太郎				場所	国土防災技術株式会社 5F 会議室		
	発注者側	林野庁森林整備部治山課 企画官 林 健二 課長補佐 後藤 寿也 課長補佐 中村 亨 係長 薮 友之				日時	令和4年8月5日(金) 9:30~12:00		
	受注者側	国土防災技術株式会社 大野亮一、田中淳、佐藤亜貴夫(web)、 高田香、尾崎智香、加藤昭広				打合せ方式	会議 対面12名、Web 2名		

<p>【第1回委員会】</p> <p><3.1.1 尾根谷度について(図3.12)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・傾斜度について30度と説明があったが、尾根谷はどう示すのか。(山瀬) →尾根谷度は算定そのものの難易度が高く、ガイドラインでは採用しない方向。(事務局) ・傾斜度については良い。グリッドサイズはいくつか。(執印) →10mで作成している。(事務局) →今回の目的に照らすと細かいグリッドで作業する必要は薄い。50~100m程度で良いと思う。(執印) ・P6の「Pマップ上で崩壊防止機能ランクが赤(a)と黄(b)ランクとなった林分、かつ(または)ΔCマップで…」については「かつ」が良い。(執印) <p><山腹崩壊危険度判定や流木発生危険斜面等、各種崩壊指標との重ね合わせについて></p> <ul style="list-style-type: none"> ・根系が十分であったとしても危険な場所であれば災害の危険性は高い。森林整備以外にも保全対象や治山施設等の併用もガイドラインに含めた方が良い。(執印) →ガイドライン案の中で崩壊防止等の施設を直接取り扱うことは難しい。(事務局) →根系等による表層崩壊防止機能を森林整備でどう発揮させるか、という方向性のガイドラインとする。(後藤) →森林整備だけで良いといった過度な期待を持たせる書き方はしないようにする。(中村) →森林整備の限界を探った上で、防止機能があることを伝えるべきである。(執印)

<森林の崩壊防止機能が発揮される表層崩壊について>

・土壌層の崩壊に対しては森林が有効に機能するが、土壌層の下に風化した基岩層があるような斜面での土壌層より下で崩れる崩壊に対しては、効果は限られたものとなる。森林の表層崩壊防止機能がどういったタイプの崩壊に有効であるかガイドラインに示すべきである。(阿部)

→最初にこの事業では森林による土壌層の崩壊防止効果に特化していることを明記すべき。地質条件が要因となり崩壊が起きる場合もあるため、森林以外が要因となるような場合、その点は今後の課題とするなどと説明を入れた方がよい。(大丸)

<崩壊防止機能が相対的に低い林分の判断基準について(表3.1)>

・表3.1の13%は大きい。山一面崩れているような状態。(執印)

→根系の弱い範囲を13%としているが、さらに傾斜や崩壊指標を重ね合わせると10%未満と小さくなる。絞り込みはこの程度で宜しいか。スギについても10%前後にしぼれる指標を決める際、同様の方法で絞り込みをして良いか。(事務局)

→良いと思う。(阿部, 執印)

<森林整備の優先順を決める考え方について(P12)>

・斜面の地盤要因から危険地区を判定し、森林整備をどうすべきか検討したほうが良いのでは。(阿部)

→森林要素を除いた判定結果が欲しいがデータがない。(事務局)

→傾斜で良い。(阿部, 執印)

→ガイドラインでは小班単位での作業を推奨し、小班内の傾斜30度以上が何割を占めるかなどを指標として分類していく。(事務局)

<3.1.2 崩壊防止機能を考慮した密度管理の考え方について(図3.14~3.16)>

・ ΔC の場合は小径木が、評価点Pの場合は大径木のウエイトが高くなる。無施業の場合や間伐をして大径木が増えた場合等、使い方次第でシミュレーション結果が変わってくるため確認が必要である。(執印)

・間伐により山が強くなるといった単純な話にならないよう注意する。実際に現場で様々な技術を工夫し総合的に判断するといった方向性をにじませておくべきである。(大丸)

・立木密度がそもそも低い場所の扱いはどうするのか。補植などを想定しているのか。また、データからだけでなく立木密度が低い林分がどういった履歴で存在しているのかなども合わせて考えた方がよいのではないか。(山瀬)

→現在10mグリッドで整理しているため、立木密度の低いものが多く出ている可能性がある。小班単位で見るときにどうなるのかいただいた意見とともに整理していく。(事務局)

<木材生産との整合性をどう記述するか>

・間伐は木材生産を主軸としたものであるため、本業務に組み込むのは微妙ではないか。誤解を招く可能性があるため、書かなくてもいいのではないか。(執印)

→木材生産については触れず表層崩壊でしぼっていく。(事務局)

<評価点 P および ΔC の将来予想図の評価について (図 3.14) >

- ・「540 林班た小班 (約 300m)」について評価をする場合、今回は 10m グリッドで検討しているが、あまり現実的な手法でないことから、小班を上・中・下の 3 区分程度に分けて評価してはどうかと思う。そうした時に、それぞれのグリッド平均値または代表値、最悪値等どれを使って評価すべきか。(事務局)
- 元データは 10m なのか。(執印)
- 10m もあるが小班単位のデータしかない場合もある。情報が一つしかない場合は代表値で良いと思うが、今後 10m グリッドでデータが整う可能性があるため、それを見据えた書き方もすべきではと考えている。(事務局)
- 10m で整理することでより確かな評価ができるのであればガイドラインに記載して問題ないと思う。スケールが大きい場合と、今後データが整うようになって 10m で整理した場合との精度比較を示すのはどうか。(山瀬)
- 10m グリッドでの作業ではグリッド毎に LYCS の計算を実施しており、作業量が多い。LP データが整う時代になっても、平均値で評価するのが無難だと思う。(事務局)
- 平均値が無難だと思うが、スケールをどうするかが問題。100m や 200m グリッドなど林小班毎に適したスケールで平均化するのがいいのでは。(執印)
- W_r や ΔC の議論をする際に林小班の細かいデータを活かせるようなデータがあれば良いが、それが無い時点で考えると、現状 100m グリッド程のスケールで林分の平均的な状態を数値化するのが良いと思う。(阿部)
- (画面上に線を引いて) 100m グリッドはこの程度 (6 等分) である。(事務局)
- ちょうどいいと思う。(阿部)
- 災害規模を考えたとき、細かい単位で考えても意味はないため、最大で 100m グリッドぐらいで考えた方が良い。表層崩壊も細かく見れば幅 10m、長さ 50m 程であるから、10m グリッドは現実的ではない。それらを包括する形で平均 100m でやるのが良いと思う。(執印)
- 「540 林班た小班」については改めて 100m グリッドで整理する。(事務局)
- 10m グリッドまたはスケールを大きくして整理した場合で評価が変わるのか変わらないのか、関係性は検証しておくべき。(執印)

<林分状況によるグルーピングと施業方法の提案例について (表 3.2) >

- ・先生方の意見を反映させて確定させたい。見当違いのところはないか。(事務局)
- ここでいう択伐はどういったイメージか。間伐ではないのか。(山瀬)
- 抜き切りで、間伐のジャンルとしている。(事務局)
- パーセントで表すのか。また、皆伐→強度間伐→本数調整伐(間伐)の並びに択伐があることに違和感がある。(山瀬)
- 皆伐しない、という意味合い。今後細かな説明を加え並びについても検討する。(事務局)
- ・表中①②について、②の ΔC が 2 以上というのは 4 以下であっているか。 ΔC の小さいところでの施業を指しているのか。(阿部)
- 相対的に弱い林分を抽出した場合は、 ΔC の大きさは基本 4 以下と考えている。
- 樹齢は ΔC に対応しているから、樹齢と関係なく ΔC は区分するということか。(執印)
- 現段階で ΔC は 2 で区切っているが、①②を一律にせず林齢毎の閾値を設け、また 100m グリッドで整

<第1回委員会議事録 4 of 6>

理した場合にはどういった動きがあるのか確認し決めていきたい。(事務局)

・20年生以下で皆伐に△(可)がついているが、△Cが非常に弱い場合には森林を処理するといった考えか。(阿部)

→不良林分となる可能性があるため再造林するという考えである。(事務局)

→皆伐というと収穫をイメージするため、用語が異なる気がする。(阿部)

→不良林分として存置した場合と、再造林したのち十分に生育せず崩壊等で甚大な被害が生じる場合で、どちらがリスク管理として適切か判断する根拠が必要。(執印)

→20年生ぐらいまで育ったものを再造林のために全て処理するとき、理由が△Cが低いからだけでは不可能な気がする。(阿部)

<施業オプションについて>

・皆伐と択伐の区別がつかない。ガイドラインに定義を示したほうが良いのでは。(執印)

・配布資料には択伐(誘導伐含む)とあるが、国有林では間伐の中に誘導伐が含まれる。択伐や間伐などは使い方、捉え方によってイメージが変わってくるのが実情。(後藤)

・間伐が表面土層の強度に影響すると我々が考える場合、ある程度均質に間伐をすることを想定していると思うが、実際の現場ではある程度まとまったエリアをごっそり抜き、トータル何%残っているからこれは強度間伐だと議論をしている。だが、ごっそり抜いたところがたまたま0次谷であるなど、列状間伐の場合そういったことが起きてくる。本ガイドラインではどういう状況でどういった間伐を想定しているのかをある程度書かなければ現場との乖離が起きてくるのではないか。(大丸)

→伐採方法等の定義については治山課と相談する。(事務局)

<現地検討会について>

・現地検討会を実施して宜しいか。(事務局)

→異論ありません。(委員)

<エリートツリーと通常のスギの比較(図3.23)>

・LYCSの中にはエリートツリーの情報は無いが、どう反映させていくのか。(執印)

→エリートツリーの研究成果を見るとエリートツリーは通常のスギと比べ成長曲線が1.2年早くなると思われる。このメリットを図3.25(Ziemer, 1981)を用いて表し、Regrowthラインが1.2年分左に移動することで表層崩壊防止機能が一時的に低下するオーナス期を短くできるということをガイドラインに書きたいと考えている。

→エリートツリーの調査データは現在2本だけであるが、エリートツリーは通常のスギと比べて強度は同じで根量が多い結果が出ているため、今年データを3本追加しバックデータを確保する。(事務局)

→胸高直径や樹高成長が通常のスギと比べ早いようなデータはないか。(阿部)

→エリートツリーの地上部については既往の研究データがあるので収集すれば出てくる。ただ、エリートツリーの根系データを計測した研究がないため、本事業で調査をしている。現地検討会でエリートツリーの調査箇所をお見せしたい。(事務局)

<調査方法について>

- ・地上部を上層，中層，下層と分けて測定するようだが，T/R率を求めるためにそこまでやる必要はないのでは。(山瀬)
- 計量時に全て一緒にして乾燥させると枝と葉の比率が上・中・下で異なり重量に誤差が生じてしまうので，念のため分けて測定した。(事務局)
- 地下部の1cm以上/未満の根を分けるというのは目的があるのか。(山瀬)
- 採取した根はある程度空気で清掃するが，まず土がついた状態で生重量を測定し，のちに洗浄・乾燥しデータを取っている。根の直径が異なれば根の表面に付着する土の量が変わってくるため，誤差を減らすために1cm以上または未満で分け乾燥重量にして測定する。(事務局)

<伐採と根の腐朽による根系抵抗力の変化に関する概念モデル(Ziemer, 1981)について(図3.25)>

- ・イニシャルカットとセカンドカットがあるため，2回皆伐しているのか？ 二段林のような。(阿部)
- 2回に分けて主伐が行われており，1回目のRegrowthは伐採しなかった樹木が成長して上がり，さらに伐採した所に造林した苗木が少し増えているので足すと，トータルで大きくなるという構造。(林)
- 基準となる赤い横線(ボーナス期)をどこに引くかの問題では。もう少し下げればボーナス期が増える。(中村)
- あまりボーナス期と強調しない方が良い気がする。ガイドラインに記載すると誤解を招く可能性がある。(執印)
- 基本的には曲線の上下の動きを議論し，そこにプラスいくつマイナスいくつといった要素は記述しない事とする。(事務局)
- ・エリートツリーについて成長が早い分だけ伐期が早くなるといった使い方はあり得ないのか。カーブが変わる気がする。(大丸)
- 早めに切ると波(カーブ)の周期(伐期)が早くなる。(林)
- そうなると避けた方が良いと思っていた木材生産の話と繋がってくる。(執印)
- 周期が短くなると防災機能にはプラスと言えるのか。(事務局)
- 言えない。弱い期間がトータルで長くなる可能性がある。(阿部，大丸)
- 周期が短くなることは林業生産においては大きなメリットとなるが，防止機能の点では謳わない事とする。(事務局)

<森林総研プロジェクト成果の収集と反映>

- ・森林総研のプロジェクト成果をガイドラインに反映させて宜しいか。(事務局)
- 使って問題ない。九州北部豪雨のデータが使えると思う。(大丸)

<3.2 森林の土砂災害防止機能のうち表層崩壊防止機能の解説発信業務について>

- ・海岸林，水源涵養，表層崩壊防止機能の3部門で，県や市町村の担当者が読んで分かりやすい解説本を作成し，業務に役立てたい。先生方にはゼロベースから考えていただきたい。(後藤)
- ・3部作となる外部向け解説資料のうち，表層崩壊防止機能について本委員会のほうで作成いただけないかという御意向であった。基本は阿部先生を中心に先生方でゼロベースで目次・構成を考えていただき，執筆分担も決めていただいた上での作成をお願いしたい。(事務局)

<第1回委員会議事録 6 of 6>

→私を中心になって書かせていただくが、委員の先生方にも御協力いただき、それから事務局にも御協力
いただければと思う。基本的にはこれまでの調査研究で分かったことだけ書いていきたい。他の
2部（水源涵養や海岸林）はかなり教科書的な内容で、私どもの今の話だと少し毛色が違うかもしれな
いが宜しいか。（阿部）

→分かっていることをしっかり伝えることは大事なのでお願いしたい。（林）

→水源涵養を担当しているが、足並みが揃わない場合は相談させていただく。水源涵養も海岸林も分かり
やすい形での発信を想定しているため、向いている方向は同じという印象である。（中村）

→ありがとうございます。（阿部）

<次回以降の委員会について>

- ・現地検討会は11月1日（火）、第2回委員会は12月9日（金）に予定。

以上

(2) 第2回委員会議事録

<第2回委員会議事録 1 of 5>

第2回								項	1/1
発注者側	監督職員	担当者	担当者	担当者		受注者側	管理技術者	担当者	担当者
発注者名	林野庁森林整備部治山課					受注者	国土防災技術株式会社		
業務名	令和4年度 森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査					整理番号			
出席者	委員	日本大学 阿部和時 九州大学 執印康裕(web) 石川県立大学 大丸裕武 兵庫県森林林業技術センター 山瀬敬太郎				場所	国土防災技術株式会社 5F 会議室		
	発注者側	林野庁森林整備部治山課 企画官 林 健二 総括課長補佐 永井 壯茂 専門官 後藤 寿也 課長補佐 中村 亨(web) 係長 薮 友之				日時	令和4年12月9日(金) 9:30~12:00		
	受注者側	国土防災技術株式会社 大野亮一, 田中淳, 佐藤亜貴夫(web), 高田香, 尾崎智香, 加藤昭広, 田中賢治				打合せ方式	会議 対面13名, Web 3名		

<p><第2回委員会></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン案「第I編」および「第II編」について討議した。 <p><第I編></p> <p>【伐採地に対する考え方について】</p> <p>大分の例では、再造林の放棄地であっても土砂が多量に流出しているわけではない。再造林しないことが危険であると誤解を生まないよう、低木層の効果等、未検証の検討項目がまだ残っていると記載しておくべきではないか。(大丸)</p> <p>→皆伐は推奨していないが、誘導伐は推奨しているという考え方を基本としている。下層植生については、山瀬先生からのご指摘もあり、I-53ページに記載している。(事務局)</p> <p>→記載してあるということが重要。(大丸)</p> <p>→下層植生・低木について、データを出しているのので論文を引用してよい。(山瀬)</p> <p>【伐採後の地上部と地下部の反応について】</p> <p>第II編で伐採後の地上部と地下部の反応が必ずしも同一ではない点について触れたほうが良いのではないか。(山瀬)</p>

<第2回委員会議事録 2 of 5>

→関連する調査事例はあるか。(阿部)

→広葉樹が萌芽再生する前提で、伐採後の地上部と地下部の再生状況が異なるという内容の論文を書いている。地上部は確実に再生するが、地下部はしばらくの間、活性が落ちる状況が見られる。本ガイドラインに引用してもよいのでは。(山瀬)

→論文を頂き、ご指摘を反映させます。(事務局)

【エリートツリーの地下重評価について(資料P.18 図4.4)】

DBHと地下重の関係性の図にエリートツリーを追加することで、同様のDBHでもエリートツリーの地下部の重量が、従来の品種に比べて多ければ評価ができるのでは。(山瀬)

→図にエリートツリーのデータをプロットし、回帰線より上であれば優位を示せる。また、回帰線と同様であれば、成長の早さをのみをメリットとして考えるということによろしいか。(事務局)

→図にエリートツリーのデータをプロットします。(事務局)

→結果として、エリートツリーは成長が早いということをもメリットとして活かすという考えによろしいか。(事務局)

→活かせる可能性を秘めている大事なものというニュアンスがよい。(執印)

<第II編2章>

【LYCSを使った将来予測結果における森林施業の効果の考え方について】

無施業であっても、森林機能は回復するが、生産を考慮しつつ、防災の観点から配慮するというバランスをとることが重要な成果と考える。森林機能は無施業であっても問題はなく、回復していくということによろしいか。(執印)

→無施業の場合でも、シミュレーション上では森林機能は回復する結果となる。(事務局)

→間伐することで回復が早まるわけではないのか。また、間伐の効果をどう定義すべきか。(執印)

→間伐により胸高直径が大きくなるのが早まる。それにより収穫量は上がる。詳しくは3章で説明します。(事務局)

→図2.5において最後が黄色($\Delta C < 5$)になるのは55年生時の間伐の影響が残るためだが、最後の図は平衡状態に達するところまで描画した方がよいのではないか。(大丸)

→55年生手前の50年生までの表記とすることでよいか。(事務局)

→間伐を少し早めるか、あるいは60年生以上まで示すなどにより、平衡状態に達したところで締めた方が誤解を招かない。(大丸)

【LYCSを使った将来予測結果によるP値と ΔC 評価について(p. II-35 表2.5, p. II-36 表2.6)】

P値では、施業により森林機能が高くなる時期が早まるが、 ΔC については、施業を行うことで値が下がるという点が、P値・ ΔC の両者を用いた評価方法の難しいところである。青森スギ地位3を例にとると、無施業ではP値が低評価から脱せないが、施業した場合は60年生で「やや低い」に変わり、 ΔC が3~4となる。現段階では、ここを閾値として考えるしかないのではないか。(阿部)

→個人的には、施業により機能が上がるというのはあまりよい考えとは思わない。施業により崩壊防止機能が向上したというエビデンスが示せればよいのだが。(執印)

→ ΔC は施業で下がるのが事実である可能性は十分にある。しかし、ガイドラインでは、施業をせず放置すればよいと提案すべきではない。それらを考慮したうえで、崩壊防止の観点からの最低限の ΔC を

<第2回委員会議事録 3 of 5>

提示することは、危険値を判断するための一つの方法ではないか。(阿部)

→施業により森林機能が高くなるということは、ガイドライン上では示していない。ΔCは施業後に下がっているという事実は示している。(事務局)

→施業によりΔCが下がるという事実は記載した方がよい。(執印)

→伐採により機能が弱まる時期があるが、ΔCが3~4であれば問題ないということと、経済林的な要素を考慮するならば、間伐により収穫量は増えるというニュアンスで記載しており、施業によりΔCが下がるということを明言していない。適切な施業により森林に早めの成長を促し、伐採は過度にならないよう、という方針でガイドラインにとりまとめた。 (事務局)

→技術的な観点でいえば、伐採により抵抗力が下がるということは理解している。事実として明記してよいのでは。伐採と回復の時間軸的な概念が入れば整合が取れるので、記載の仕方を考えること。(永井)

<第Ⅱ編3章>

【崩壊に対する考え方について】

崩壊があってはいけないという論調で捉えられているように思える。もともと自然度の高い流域でも川の近くの遷急線などの下では一定程度の崩壊は起きており、そこで我々がコントロールできるかどうかは大事なのでは。最終的に崩壊ゼロがよい、と読める内容にしないほうがいい。(大丸)

→当然、山は崩れるという前提があり、そこから保全対象や重要なインフラなど崩れた場合の影響の有無を考慮している。奥地や施業地等を含め、必ず崩れないようにしなければならないということではない。(永井)

【低コスト施業について (p. II-57, 図3.10)】

低コスト施業の初期植栽1,000本では、ある程度の年数が経過することで、機能向上効果が発揮されることは理解できるが、5年から10年ぐらいまでの期間は標準的な施業と比較して、ΔCが弱くなるのではないか。もし、そうであれば、デメリットについても併記すべきではないか。(山瀬)

→低コスト施業はP値で見ると10年目では成長が良く、立木密度が高いが、ΔCは若干低くなる部分もある。メリットとデメリットを記載するよう修正します。(事務局)

→林齢が20年生以下では、最も表層崩壊が発生しやすい。この時期に1,000本植栽の林分では、早い成長が予想され、根量の増加によりΔCが大きくなるという可能性も十分に考えられる。(阿部)

→施業④(低コスト施業)にしたほうが林分の蓄積も大きくなるということによろしいか。(執印)

→収穫量としても大きくなるのではないかと思うが、確認が必要。(事務局)

→収穫量が増加するのであれば、生産と森林機能向上のバランスに反映される可能性がある。(執印)

→九州にあるスギとヒノキの低密度植栽地において、スギは低密度にすると肥大化したが、ヒノキは他の林分に比べ成長が少し遅かったという調査報告書がある。(後藤)

<第2回委員会議事録 4 of 5>

【表3.4の胸高直径について (p. II-51)】

成長度合の高と低がどちらも同じ値だが、これでよいか。(阿部)

→林齢30年生では、まだ成長度合の高と低で差が出ないため、問題ない。(事務局)

【皆伐施業について (p. II-50)】

文中の「したがって、主伐としての『皆伐施業』は崩壊防止機能の観点から奨励できず…」の前に、

「山地災害などの発生する恐れのある地域などにおいては」など条件を置いてはどうか。(永井)

→地域に適合した形の林業に対する理解を得るために、その一つの知恵として今回の知見を提供するというスタンスがよい。(大丸)

【間伐後の ΔC について (p. II-50)】

32年生時に、間伐率約55%で伐採したスギの17年後の ΔC を調査した。最も弱いといわれる立木間中央で測定したところ、無間伐と同じ状態になっていた。ただし、何年後から同じ状態まで回復したのかはわからない。(山瀬)

→示せるデータはないが、回復は17年よりも早いのではないか。(阿部)

→間伐の場合は、早めに回復するというのはそのとおりではないか。(林)

【施業による崩壊防止機能の効果について】

施業をして森林が強くなるわけではなく、基本的には、施業をして根系の肥大成長を早める。そのこと自体が崩壊防止機能の早期回復をもたらすというのが現時点の考えであるが、それをガイドライン案で打ち出してよいか。(事務局)

→回復というのは伐採する前の状況に回復させるという意味か。(阿部)

→少なくとも伐採前のレベルにまで早く回復するということ。(事務局)

→表3.3の崩壊防止機能を発揮する森林整備のめやす(針葉樹)にあるように、理想の状態の時に発揮される機能にできるだけ早く近づける、そういう趣旨だと説明するのはよい。(林)

→施業により森林が強くなるわけではないと明記するのは踏み込んだ内容ではないか。(事務局)

→発注者側の考えとして、間伐をすれば、その場では機能が下がったとしても時間の経過とともに根系の発達によりある程度増すとといった表現はしており、その部分の整合が気になる。また、施業により山を強くするという断定はしておらず、施業すると弱くなるとも言っていないため、ガイドラインとしては、そこは判断のしどころかもしれない。(永井)

→施業して理想の林形に早く近づける、そこまでを打ち出すということによいか。(事務局)

→状況に応じる部分がかなりある。(永井)

→実際、全体的に考えると風倒リスクなども含めて考えなければならない。3.5では、総合的に考えてという観点があつてよいのではないか。(大丸)

→大きく皆伐をしては非常にまずいが、森林資源は我々の暮らしに絶対必要であるため、うまく使っていくと考えた際、この指針は非常に役に立つ、という位置づけではないか。(執印)

→全体として多様で健全な災害に強い森づくりのような形で、発注者側としては白書含めそういう話をしているため、整合がうまく図れるものであればよい。(永井)

→施業をして崩壊防止機能が本当に増えていくのか、それを断定できる科学的な事実もないため、あまり強いことは言わないほうがよい。(阿部)

<第2回委員会議事録 5 of 5>

<その他>

【次回委員会について】

第3回委員会は2月16日14時開催を予定。内容は、ガイドライン案の承認と解説書案の最終調整。
(事務局)

【ガイドライン案について】

修正もしくは疑問点があれば、年明けまでに事務局まで連絡してください。1月中旬までに修正版を仕上げて郵送します。(事務局)

【解説資料案について】

阿部先生の割り当ての執筆担当の方に原稿の執筆をお願いする。A4サイズのワード形式で、1行45文字、40行程度で設定して作成してください。(事務局)

以上

(3) 第3回委員会議事録

<第3回委員会議事録 1 of 4>

第3回								項	1/3
発注者側	監督職員	担当者	担当者	担当者			管理技術者	担当者	担当者
						受注者側			
発注者名	林野庁森林整備部治山課					受注者	国土防災技術株式会社		
業務名	令和4年度 森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査					整理番号			
出席者	委員	日本大学 阿部和時 九州大学 執印康裕(web) 石川県立大学 大丸裕武(web) 兵庫県森林林業技術センター 山瀬敬太郎				場所	AP 虎ノ門 3F 会議室(J ルーム)		
	発注者側	林野庁森林整備部治山課 企画官 林 健二 総括課長補佐 永井 壯茂 専門官 後藤 寿也 課長補佐 中村 亨(web) 係長 薮 友之				日時	令和5年2月16日(木) 14:00~16:30		
	受注者側	国土防災技術株式会社 大野亮一, 田中淳, 佐藤亜貴夫(web), 高田香, 尾崎智香, 加藤昭広				打合せ方式	会議 対面12名, Web 4名		

<第3回委員会>

- ・ガイドライン案の修正箇所について審議いただいた。
- ・パンフレット案の修正箇所について審議いただいた。
- ・解説書案について討議した。

<ガイドライン案に関する審議>

【萌芽再生 (p. II-50)】

p. II-50 の山瀬委員の論文引用部分の萌芽再生のくだりでは、基本的に広葉樹の萌芽再生について説明している。しかし、ガイドライン全体では、スギ・ヒノキの針葉樹について説明しているため違和感がある。(山瀬)

→スギ・ヒノキの皆伐による影響と植栽木の効果の関係について論じているので、コナラの話はここにはそぐわないという解釈でよろしいか。(阿部)

→はい。(山瀬)

→p. II-50 の「山瀬ら」から「との報告もある」までの部分を割愛します。(事務局)

【深層崩壊 (p. II-44)】

p. II-44 の「森林の崩壊防止機能は表層崩壊のみ有効で、深い崩壊に対しては効果がないことも十分認識しておく必要がある」の箇所で、100年に一回起こるような降雨については、深層崩壊のみでなく、表層崩壊でも効果がないことを記載してもよいのではないか。(執印)

→極端豪雨や深層崩壊に対しては、(根系による) ネットワーク効果は小さいが、可能性は否定できない。したがって、「限定的と考えられる」という表現が妥当ではないか。(大丸)

→「数百年に一度のような極端な豪雨に対しては限定的な効果と考えられる」という表現でよろしいか。(事務局)

→大丸委員の意見に賛成。(阿部)

→大丸委員と阿部委員の意見に同意。(林野庁)

→極端豪雨や深層崩壊に対しては極めて限定的というニュアンスを含めた文章で修正すること。(阿部)

【伐採について (p. I-52 図 2.35)】

p. I-52 図 2.35 内の伐採は間伐、或いは皆伐のどちらか、もしくは両方を指しているのか。(山瀬)

→除伐を除く、間伐と主伐の両方を指しています。(事務局)

→「+新植」ないし「適切な施業」という表現があるため、「皆伐+新植」であれば分かりやすいが、「間伐+新植」も想定しているのか。(山瀬)

→主伐に変更します。(事務局)

→皆伐でよいのではないか。(阿部)

→図 2.35 および同様の他の図については、皆伐で統一します。(事務局)

【適切な施業 (p. I-52 図 2.35)】

p. I-52 図 2.35 内の「適切な施業」は間伐と改めた方がよいか。(事務局)

→「適切な施業」でよいのではないか。(執印)

→では、「適切な施業」のままとします。(事務局)

【シミュレーションの一例 (p. II-64 中段の表)】

間伐したほうが 70 年生になったときに ΔC が小さくなっているように読み取れるが問題ないか。(山瀬)

→シミュレーション上では小さくなります。(事務局)

→実際には、無施業で 70 年間放置した場合、順調に生育することはないが、どこかで注釈されているのか。(阿部)

→「下刈等の施業は想定していないため、実際に表内のような順調な値を示すかは不明」との注記を記載しました。(事務局)

→下刈等ではなく、「下刈り、除伐、間伐」と記載するなど強調した方がよい。(阿部)

<パンフレット案に関する審議>

【4枚目：「間伐した森林は倒れにくい」について】

間伐によって根系が強くなるが、強い根を持った個体が適切な密度で存在することが重要で、ここでは単木の話になっているが密度についても記載することが適切ではないか。(山瀬)
→密度の観点を加えるようにします。(事務局)

【4枚目：「押し下げ効果」に代わる内容について】

森林崩壊防止機能のみではなく、気象害耐性や他の防災機能を配慮し、総合的に間伐は必要だと判断することが多い。森林が持つ他の防災機能や、土石流被害を軽減する効果(倒れにくさ)等を記載することで、森林が重要ということにつながる。(大丸)

→私もそう思う。(執印)

→なるべく間伐等で木を成長させ、根を張らせることで、土石流被害軽減効果や風倒害に強い森林を維持するという内容をこのセクションに入れ、「間伐した森林は倒れにくい」とつなげるようにします。(事務局)

【7枚目：エリートツリー】

エリートツリーに転換することによって、崩壊防止機能が高まることもあるかもしれないというニュアンスになってないか。(執印)

→、エリートツリーに限らず、樹種によっても根系の強度は違う、「エリートツリーに転換、あるいは樹種を転換する」ぐらいの書きぶりならあるのかもしれない。(執印)

→エリートツリーに限らず早生樹といった樹種転換の活用を今後想定しているが、実情では根系に関する調査が進んでいない。都道府県に配布するうえで、一般に根系の効果について分かってもらい入口となる表現を検討してほしい。(林野庁)

【7枚目：樹種転換】

エリートツリーのセクションで、樹種転換の話は入れないほうがよいか。「適切な管理をすれば、時には伐採前よりも高まる」の部分は、割愛したほうがよいか。(事務局)

→そもそも樹種転換を想定して書いているのか。(林野庁)

→元々の意図は違います。(事務局)

→伐採前は普通のスギがあって、伐採後にエリートツリーを植えたら崩壊防止機能が高まるというように読める。(阿部)

→伐採前の森林は管理が悪く、弱い森林だったが、適切な管理をして育成すれば、前よりも森林の機能が高まるという意図でした。書き方としては「早期の根量回復が期待できます」で終わっても十分かもしれません。(事務局)

→例えば「エリートツリーを使うことによって、崩壊防止機能の低下期間が短くなる」というような表現はあってもいいのでは。(山瀬)

→「低下期間が短くなります」に変更します。(事務局)

【パンフレットの配布形式】

印刷物の他に、誰でもダウンロードできるような PDF 等の電子的な形式で公開されるのか。
(執印)

→委員会議事録等の成果物は、公開対象であり、パンフレットもウェブから PDF でダウンロードできるようになる。(林野庁)

<解説書案>

【書式スタイル等】

詳細な論文的な書き方か、骨格部分だけをまとめた短い書き方か、どのようなスタイルにまとめるべきか、御検討いただきたい。(阿部)

→短くした方が全体的にそろえやすく、いいのでは。(大丸)

→阿部先生の執筆内容は詳細に解説されていて非常に貴重な資料。前半に要約版を載せ、後半に詳細な解説を残すという 2 部構成でよいのでは。(大丸)

→山瀬先生には要約版のような形式で執筆いただいているが、詳細版も書いていただくということによろしいか。(阿部)

→後半部分はアペンディクスなので、全てに詳細版がある必要はない。(大丸)

→私の方で前半向けの要約版を追加執筆する。後半はいまの内容をそのまま記載する。(阿部)

<その他>

【今後の予定】

本日の審議内容を踏まえ、事務局でガイドライン案及び、パンフレットを修正し、解説資料(案)については、3月17日前に頂いたものを成果として納品し、本事業は完了します。
(事務局)

以上

3.4 委員会指摘事項への具体的な対応

第1回及び第2回委員会での指摘事項への具体対応は、それぞれ下記の委員会資料に記載した。

- ・第1回委員会での指摘事項への具体対応 → 第2回委員会資料に記載
- ・第2回委員会での指摘事項への具体対応 → 第3回委員会資料に記載

ここでは第3回委員会での指摘に対する具体対応を以下に記す。

<第3回委員会での指摘事項に対する具体対応 1 of 7>

<ガイドライン案の修正箇所>

【萌芽再生 (p. II-50)】

p. II-50 の山瀬委員の論文引用部分の萌芽再生のくだりでは、基本的に広葉樹の萌芽再生について説明している。しかし、ガイドライン全体では、スギ・ヒノキの針葉樹について説明しているため違和感がある。(山瀬)

→皆伐による影響と植栽木の効果の関係について論じているので、コナラの話はここにはそぐわないという解釈でよろしいか。(阿部)

→はい。(山瀬)

→p. II-50 の「山瀬ら」から「との報告もある」までの部分を割愛します。(事務局)

修正後 (一部削除)

【皆伐 (立木密度の極端な低下) による影響と植栽木の効果の関係】 ←

崩壊防止機能の発揮には、立木密度を適切にコントロールすることが重要だが、立木密度を極端に低下させる施業が「主伐」であり、特に皆伐は立木の効果が得られない (無立木地) 状態となる。ただし、伐採後も根株などはすぐに腐朽しないことから、崩壊防止に影響する根の引き抜き抵抗力は伐採後ただちに「ゼロ」になるわけではなく徐々に低下する。[山瀬ら\(2022\)によればコナラなど萌芽再生する樹種では、伐採後も一定の根系補強力が維持されている、との報告もある。](#)また、皆伐箇所では更新のために伐採後なるべく早く植栽することが通常で、植栽木が成長することで新たな根系の引き抜き抵抗力の増加が期待できる。これらの関係を示したのが図 3.6 であり、森林は伐採後ただちに植栽したとしても 10 年～20 年くらいで最も崩壊防止機能が低下することが知られている。 ←

急斜面で皆伐した場合、林床を覆う落葉落枝が流失し蒸発散や枝葉等による緩衝効果が望めず、降雨による表土攪乱の可能性が増加するなど、崩壊防止の観点から望ましくない。一方で比較的平坦な斜面で皆伐した場合は、表土攪乱される可能性は低く、そもそも崩壊が生じないことから皆伐施業が問題となる可能性は低い。また、主伐としての「皆伐施業」は崩壊防止機能の観点から基本的に推奨できないが、崩壊発生のおそれがないなど対象斜面の状況や樹

[山瀬敬太郎・藤堂千景・鳥居直之・谷川東子・山本智究・池野英利・大橋瑞江・檀浦正子・平野恭弘 \(2022\) : 里山林伐採後の樹木根による土壌補強強度の変化、水利科学、No.387、p.1-17](#) ←

II-50 ←

【深層崩壊 (p. II-44)】

p. II-44 の「森林の崩壊防止機能は表層崩壊のみ有効で、深い崩壊に対しては効果がないことも十分認識しておく必要がある」の箇所、100年に一回起こるような降雨については、深層崩壊のみでなく、表層崩壊でも効果がないことを記載してもよいのではないか。(執印)

→極端豪雨や深層崩壊に対しては、(根系による) ネットワーク効果は小さいが、可能性は否定できない。したがって、「限定的と考えられる」という表現が妥当ではないか。(大丸)

→「数百年に一度のような極端な豪雨に対しては限定的な効果と考えられる」という表現でよろしいか。(事務局)

→大丸委員の意見に賛成。(阿部)

→大丸委員と阿部委員の意見に同意。(林野庁)

→極端豪雨や深層崩壊に対しては極めて限定的というニュアンスを含めた文章で修正すること。(阿部)

修正前

□例えば平坦な土地では崩壊の発生は想定されず、崩壊防止機能が発揮されることを期待する場所ではない。そのような場所では経済林としての活用を基本とする森林経営をおこない、逆に急勾配の斜面や、保全対象に面した斜面など崩壊防止機能を重点的に検討する必要がある箇所、若しくは崩壊防止機能を発揮させたい森林では、経済林としての活用に加えて、防災への配慮も求められる。なお、森林の崩壊防止機能は表層崩壊のみ有効で、深い崩壊に対しては効果がないことも十分認識しておく必要がある。←



修正後

□例えば平坦な土地では崩壊の発生は想定されず、崩壊防止機能が発揮されることを期待する場所ではない。そのような場所では経済林としての活用を基本とする森林経営をおこない、逆に急勾配の斜面や、保全対象に面した斜面など崩壊防止機能を重点的に検討する必要がある箇所、若しくは崩壊防止機能を発揮させたい森林では、経済林としての活用に加えて、防災への配慮も求められる。なお、森林の崩壊防止機能は基本的に表層崩壊に対して有効であり、数百年に一度のような極端な豪雨や深層崩壊に対してはきわめて限定的な効果に留まるものと考えられる。←

【伐採について (p. I-52 図 2.35)】

p. I-52 図 2.35 内の伐採は間伐、或いは皆伐のどちらか、もしくは両方を指しているのか。
(山瀬)

→ 除伐を除く、間伐と主伐の両方を指しています。(事務局)

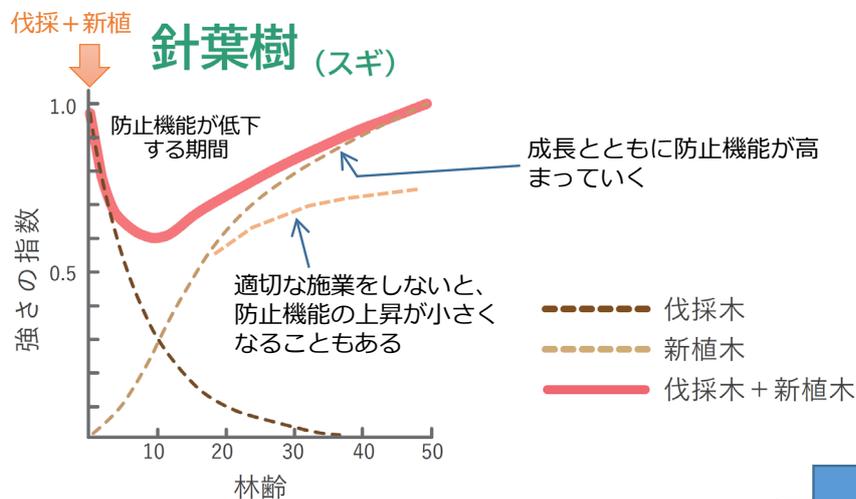
→ 「+新植」ないし「適切な施業」という表現があるため、「皆伐+新植」であれば分かりやすいが、「間伐+新植」も想定しているのか。(山瀬)

→ 主伐に変更します。(事務局)

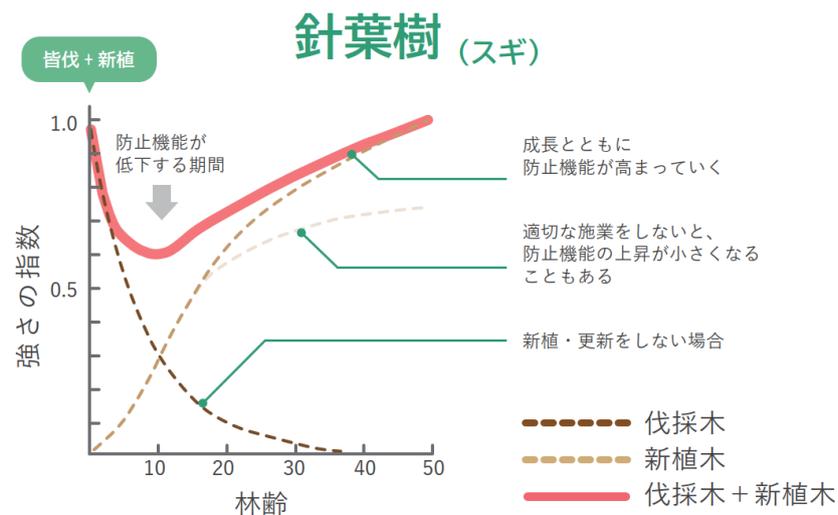
→ 皆伐でよいのではないか。(阿部)

→ 図 2.35 および同様の他の図については、皆伐で統一します。(事務局)

修正前 (第 I 編図 2.35、第 II 編図 3.6、第 II 編図 3.13)



修正後 (第 I 編図 2.35、第 II 編図 3.6、第 II 編図 3.13)



< 第3回委員会での指摘事項に対する具体対応 4 of 7 >

【シミュレーションの一例 (p.Ⅱ-64 中段の表)】

間伐したほうが70年生になったときに ΔC が小さくなっているように読み取れるが問題ないか。(山瀬)

→シミュレーション上では小さくなります。(事務局)

→実際には、無施業で70年間放置した場合、順調に生育することはないが、どこかで注釈されているのか。(阿部)

→「下刈等の施業は想定していないため、実際に表内のような順調な値を示すかは不明」との注記を記載しました。(事務局)

→下刈等ではなく、「下刈り、除伐、間伐」と記載した方がよい。(阿部)

修正前

※→下刈等の施業は想定していないため、実際に表内のような順調な値を示すかは不明

70年↓	30年生↔				50年生↔				
総収穫量↓	本数密度	胸高直径	評価点↓	ΔC ↓	本数密度	胸高直径	評価点↓	ΔC ↓	本数密度
[m ³ /ha]↔	[本/ha]↔	[cm]↔	P↔	[kN/m ²]↔	[本/ha]↔	[cm]↔	P↔	[kN/m ²]↔	[本/ha]↔

修正後



※→下刈、除伐、間伐等の施業は想定していないため、実際に表内のような順調な値を示すかは不明

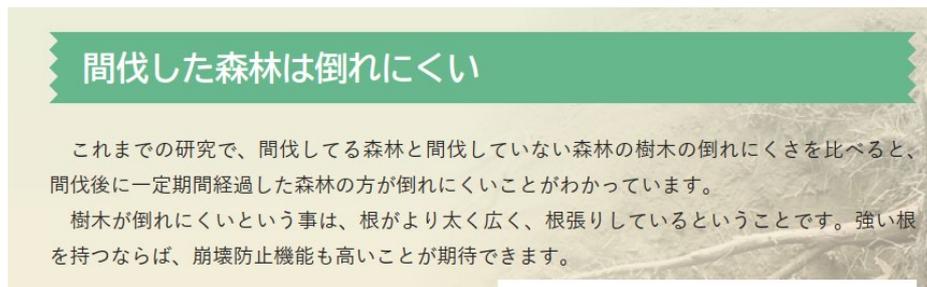
70年↓	30年生↔				50年生↔				70年生↔	
総収穫量↓	本数密度	胸高直径	評価点↓	ΔC ↓	本数密度	胸高直径	評価点↓	ΔC ↓	本数密度	胸高直径
[m ³ /ha]↔	[本/ha]↔	[cm]↔	P↔	[kN/m ²]↔	[本/ha]↔	[cm]↔	P↔	[kN/m ²]↔	[本/ha]↔	[cm]↔

<パンフレット案の修正箇所>

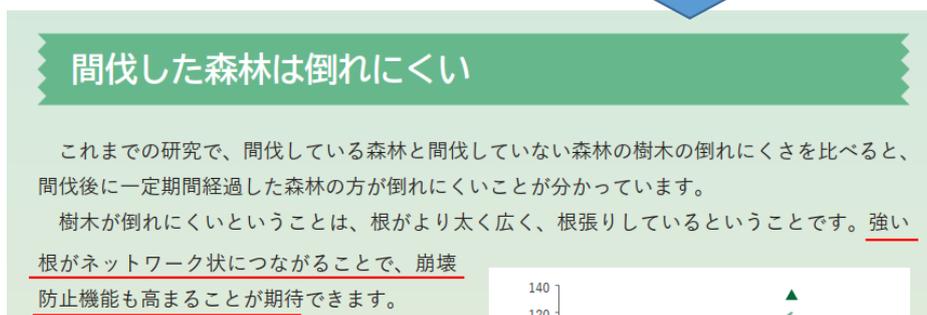
【4枚目：「間伐した森林は倒れにくい」について】

間伐によって根系が強くなるが、強い根を持った個体が適切な密度で存在することが重要で、ここでは単木の話になっているが密度についても記載することが適切ではないか。(山瀬)
→密度の観点を加えるようにします。(事務局)

修正前



修正後



【4枚目：「押し下げ効果」に代わる内容について】

森林崩壊防止機能のみではなく、気象害耐性や他の防災機能を配慮し、総合的に間伐は必要だと判断することが多い。森林が持つ他の防災機能や、土石流被害を軽減する効果(倒れにくさ)等を記載することで、森林が重要ということにつながる。(大丸)

→私もそう思う。(執印)

→なるべく間伐等で木を成長させ、根を張らせることで、土石流被害軽減効果や風倒害に強い森林を維持するという内容をこのセクションに入れ、「間伐した森林は倒れにくい」とつなげるようにします。(事務局)

修正前

削除

修正後

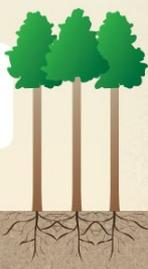
↓

手入れをすることで森林の機能向上を

根が太く根張りが広いと、表層崩壊防止機能が高まる例を紹介しました。この例のように、間伐を行い地上部の樹木の成長を促進することで、幹が太く枝葉がしっかりとした健全木が育ち、地下部でも同様に根が太くなるとともに水平に広がり拡大します。逆に、枝や葉が木の上部に集中したアタマでっかちな状態（樹冠長率が低い、という言い方をします）では風に弱く、根株ごと倒れやすくなります。

適切な森林整備を行い、樹木の成長を促すとともに、木の形状を整えていくことで、災害に強い森林に変えていくことができます。

密で細く
下枝が枯れ上がり
風で倒れやすい



疎で太く
根張りがよい



<第3回委員会での指摘事項に対する具体対応 7 of 7>

【7枚目：エリートツリー】

エリートツリーに転換することによって、崩壊防止機能が高まることもあるかもしれないというニュアンスになってないか。(執印)

→そんなことはないのでは。(阿部)

→エリートツリーに限らず、樹種によっても根系の強度は違う、「エリートツリーに転換、あるいは樹種を転換する」ぐらいの書きぶりならあるのかもしれない。(執印)

→エリートツリーに限らず早生樹といった樹種転換の活用を今後想定しているが、実情では根系に関する調査が進んでいない。都道府県に配布するうえで、一般に根系の効果について分かってもらい入口となる表現を検討してほしい。(林野庁)

修正前

早期に崩壊防止機能を高めたいときには、成長の早い早生樹や成長が優れた木をかけ合わせたエリートツリーを活用する方法もあります。エリートツリーの根系強度を調べたところ、強さは通常の根系と同程度でしたが、成長が早いことから早期の根量回復が期待できます。適切な管理をすれば、時には伐採前よりも崩壊防止機能が高まることもあります。

修正後

早期に崩壊防止機能を高めたいときには、成長の早い早生樹や成長が優れた木をかけ合わせたエリートツリーを活用する方法もあります。エリートツリーの根系強度を調べたところ、強さは通常の樹木の根系と同程度でしたが、成長が早いことから早期の根量回復が見込まれ、崩壊防止機能の低下期間が短くなることが期待されます。

【7枚目：樹種転換】

エリートツリーのセクションで、樹種転換の話は入れないほうがよいか。「適切な管理をすれば、時には伐採前よりも高まる」の部分は、割愛したほうがよいか。(事務局)

→そもそも樹種転換を想定して書いているのか。(林野庁)

→元々の意図は違います。(事務局)

→伐採前は普通のスギがあって、伐採後にエリートツリーを植えたら崩壊防止機能が高まるというように読める。(阿部)

→伐採前の森林は管理が悪く、弱い森林だったが、適切な管理をして育成すれば、前よりも森林の機能が高まるという意図でした。書き方としては「早期の根量回復が期待できます」で終わっても十分かもしれません。(事務局)

→例えば「エリートツリーを使うことによって、崩壊防止機能の低下期間が短くなる」というような表現はあってもいいのでは。(山瀬)

→「低下期間が短くなります」に変更します。(事務局)

1つ上(【7枚目：エリートツリー】)の修正にて対応済み

3.5 速記録

第1回、第2回、第3回委員会の速記録を付録に掲載する。

3.6 委員会資料

第1回、第2回、第3回委員会での配布資料を付録に掲載する。

4. 森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に関するガイドライン（案）

本事業で作成した『森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に関するガイドライン（案）』の全文を掲載する。