

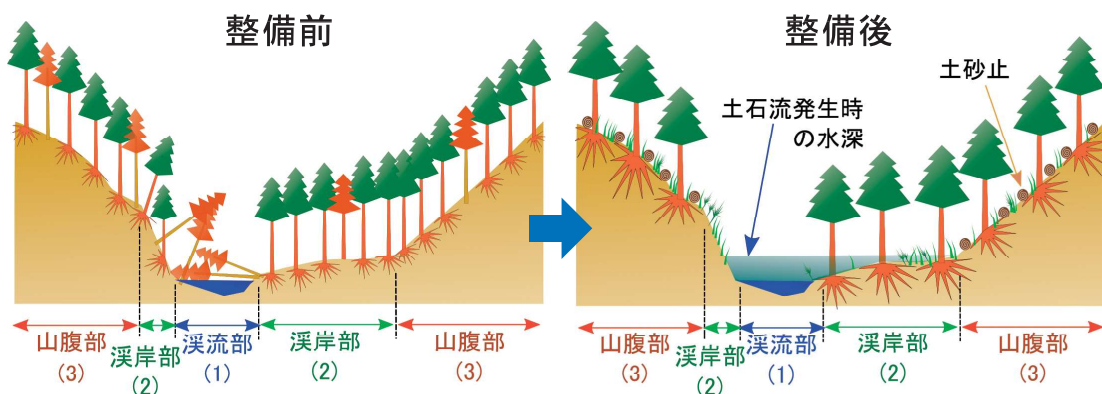
みえ森と緑の県民税 災害に強い森林づくり推進事業 効果検証にかかる 調査・研究事業の結果(第2期)

令和6年3月 三重県林業研究所

「みえ森と緑の県民税」を活用して実施している災害に強い森林づくり推進事業（災害緩衝林整備事業）では、事業効果を検証するための調査・研究を行っています。本冊子では第2期〔平成31年（2019年）4月～令和6年（2024年）3月〕に行った調査・研究の結果を紹介します。

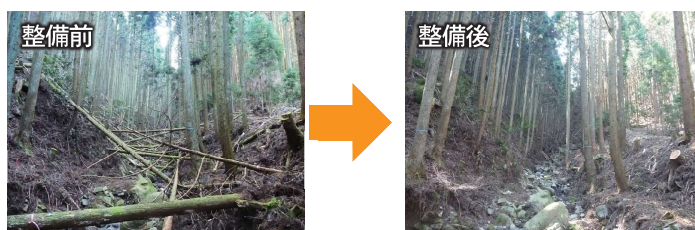
1. 災害に強い森林づくり推進事業による森林整備の概要

事業では、整備区域を下記の3つのエリアに分けて、森林整備を進めています。



(1) 溪流部…「流木発生抑制」のための整備

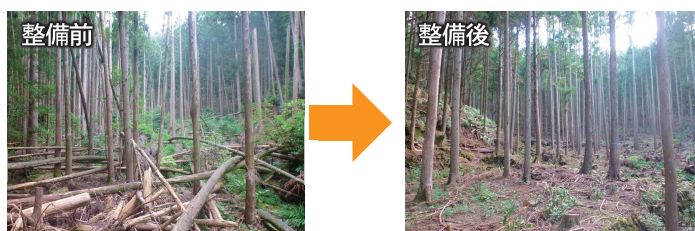
流木の発生源とならないよう、豪雨時等に流出する恐れのある溪流内の流木や倒木などの危険木を除去します。



(2) 溪岸部…「流木・土砂等流下緩衝」のための整備

流下する流木や土砂、小規模な土石流等の捕捉・堆積を促進するため、調整伐※1により胸高直径30cm以上の立木を育成します。

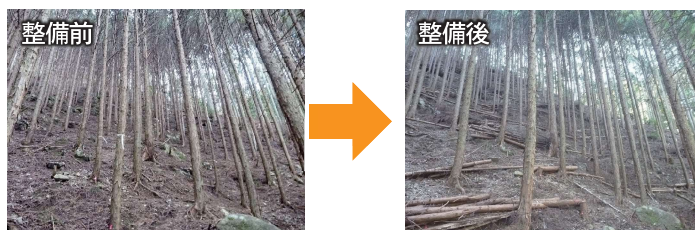
※1 立木の密度を緩和し、成長を促進するための抜き伐り



(3) 山腹部…「流木・土砂等流出抑制」のための整備

倒木や土砂等の溪流への流出を抑制するため、樹木根系による支持機能を向上させ、斜面の安定を図る森林整備（調整伐、土砂止設置※2）を行います。

※2 調整伐で伐倒した木を等高線方向に横並べたもの



2. 災害に強い森林づくり推進事業の効果検証の結果

1期目の効果検証[平成26年(2014年)4月～平成31年(2019年)3月]で未実施あるいは継続実施が必要になった下記の3項目の調査・研究を実施しました。次ページ以降に結果を紹介します。

(1) 渓流部…危険木除去による流木発生抑制効果に対して

効果検証が必要な事項 ・流木発生抑制効果は持続しているか? ----- 項目3

(2) 渓岸部…調整伐による立木の成長の促進に対して

効果検証が必要な事項 ・立木の成長は促進されるか? ----- 項目2

(3) 山腹部…調整伐による立木の成長の促進、斜面安定効果及び土砂流亡抑制効果の発揮に対して

効果検証が必要な事項 ・斜面安定効果、土砂流亡抑制効果は発揮できるか? --- 項目1
 ・立木の成長は促進されるか? ----- 項目2

効果検証にかかる調査・研究

項目1 樹木根系による斜面安定効果の調査 根系発達による斜面安定効果を検証するために

- ①根引き抜き試験、根系分布調査により、樹木根系の崩壊防止力を調査
- ②斜面からの土砂流亡量を継続測定し、土砂流亡抑制効果の持続期間を調査



調整伐と伐倒木を利用した土砂止の設置



根引き抜き試験



根系分布調査



土砂流亡量調査

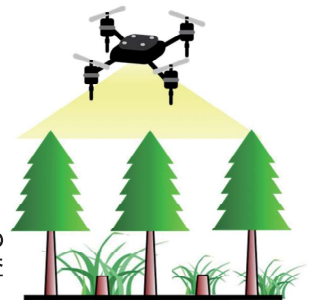
根引き抜き試験及び根系分布調査の実施、土砂流亡量の継続調査

項目2 UAV（ドローン）を用いた森林モニタリング調査 成長促進効果を検証するために

UAV 空撮画像の解析により事業実施箇所の森林状況の変化を調査



UAV(ドローン)



調整伐実施後の状態変化を調査

項目3 整備森林における危険木発生状況の調査 危険木除去による流木発生抑制効果を検証するために

危険木を除去した渓流で、倒木、流木など危険木の発生状況を調査



整備前



危険木除去



整備後



その後?

項目1 樹木根系による斜面安定効果の調査

検証したいこと①

山腹部で、調整伐は樹木根系の崩壊防止力を高めるか？

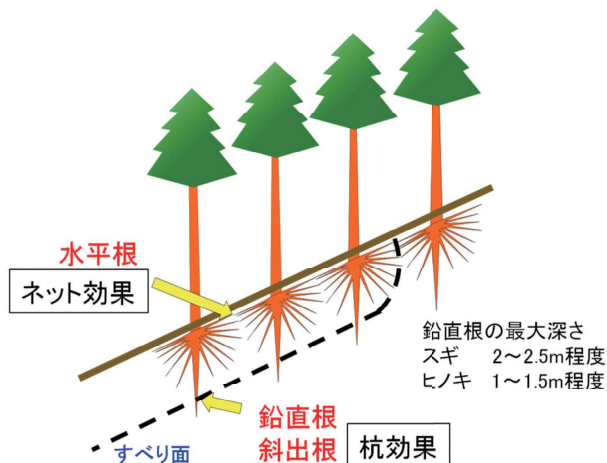
樹木根系による崩壊防止機能を高めるために調整伐を行っています。根引き抜き試験、根系分布調査などを行い、調整伐が樹木根系の崩壊防止力を高める効果について検証しました。

樹木根系の崩壊防止機能

山腹斜面において、表層崩壊時には、すべり面に土のせん断抵抗（崩壊に抵抗する力）が発生しますが、樹木根があることで、さらに抵抗力が付加されます。本冊子では、この付加分を樹木根系の崩壊防止力と称します。

崩壊防止力は、水平根が互いに絡み合いネット状に発達することで崩壊発生を抑止する「ネット効果」、鉛直根・斜出根が伸長することによる「杭効果」に分けられますが、近年では、ネット効果の役割の方が大きい可能性が示されています。

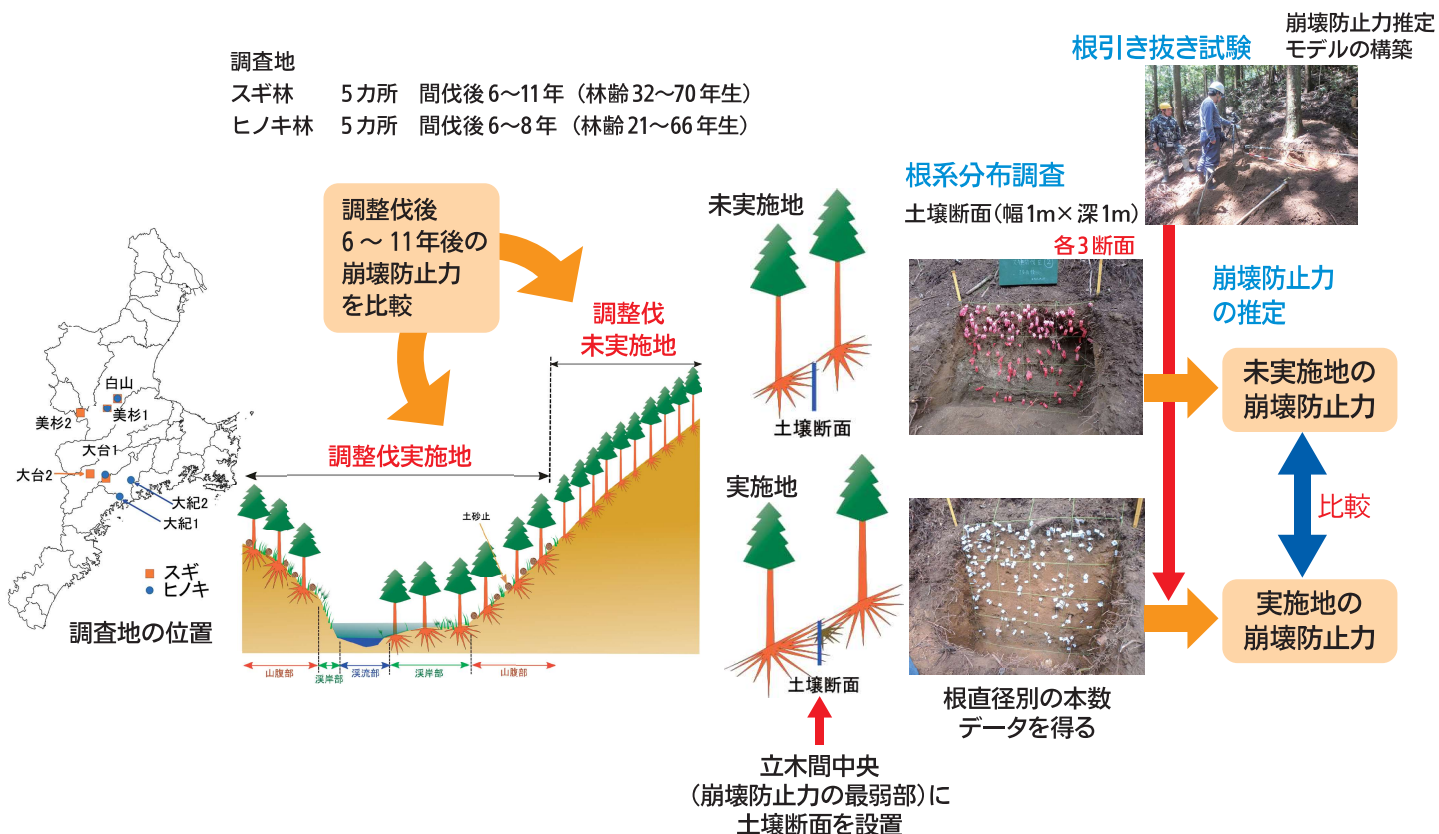
そのため、効果検証では水平根による崩壊防止力の評価を行いました。



Q. 調整伐の効果は？

A. 調整伐による崩壊防止力の増強が確認できた

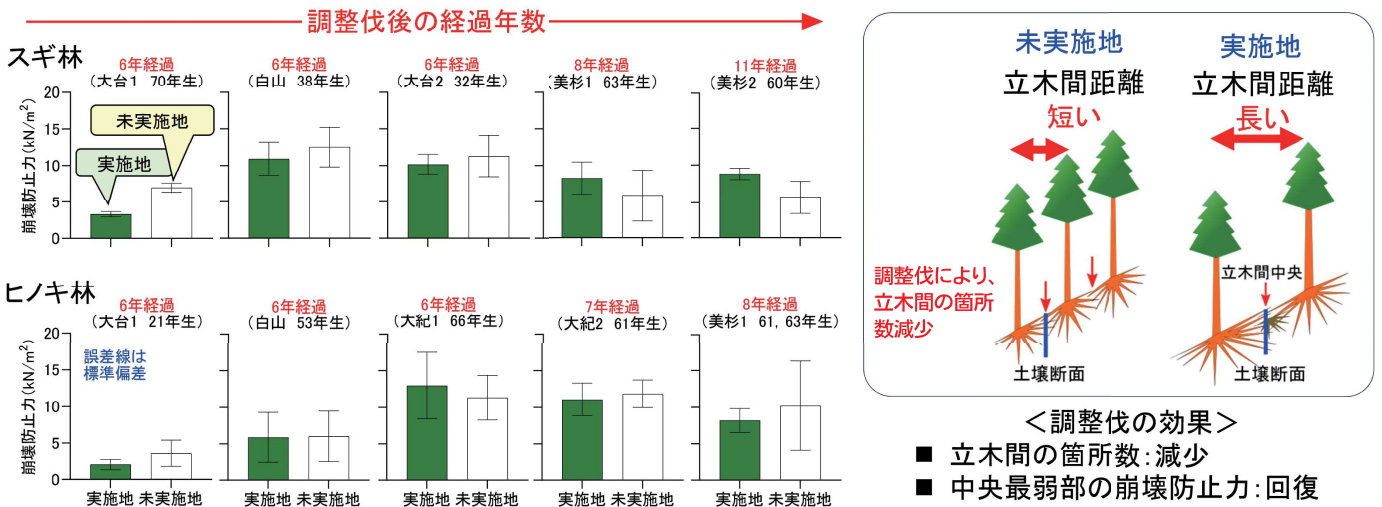
調整伐後6~11年経過したスギ林5カ所、同6~8年経過したヒノキ林5カ所において、調整伐実施地と未実施地の立木間中央（崩壊防止力の最弱部）で根系分布調査を行いました。得られたデータに対し、根引き抜き試験を行うことで構築した崩壊防止力推定モデルを適用して崩壊防止力を推定し、実施地と未実施地を比較することで調整伐の効果を検証しました。



●調整伐実施地と未実施地における樹木根系の崩壊防止力の比較

■調整伐実施地における立木間中央の崩壊防止力は、調整伐後に伐採木の根系腐朽によって一時的に低下すると推測されます。ところが、そこに残存木の根が伸長成長するので、調整伐6～11年後には立木間距離が長いにも関わらず、最弱部である中央の崩壊防止力は未実施地と同程度まで回復しました。

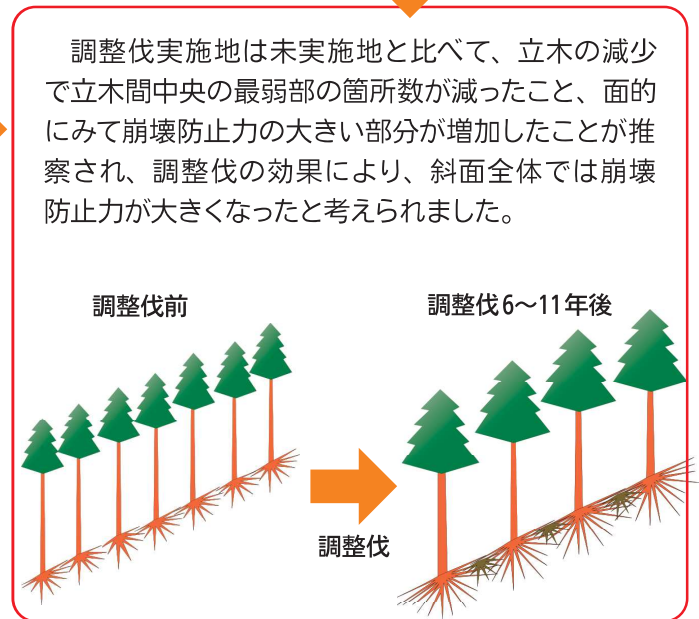
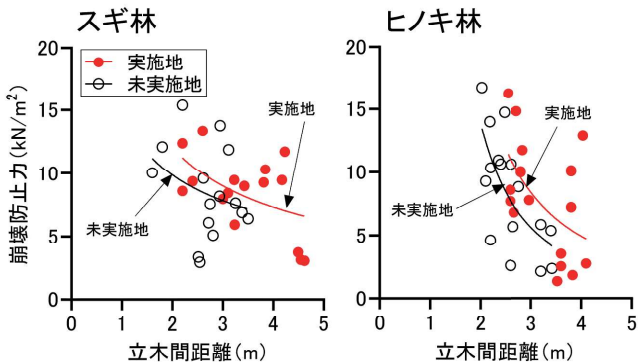
■調整伐により、6～11年後に立木間中央の崩壊防止力が同程度まで回復したということは、崩壊防止力の最弱部の箇所数が調整伐分だけ減少したと推察され、結果的に斜面全体ではその分だけ崩壊防止力は増加しました。



●立木間距離と立木間中央の樹木根系の崩壊防止力の関係

■立木間中央の崩壊防止力は、同じ立木間距離では実施地の方が未実施地よりも大きい傾向がみられました。

■調整伐により、面的に崩壊防止力の大きい部分が増加したと推察されます。



Q. 調整伐の実施において注意すべきことは？

A. 傾斜35°以上の急斜面では立木間距離の空けすぎに注意

■立木間距離と崩壊防止力の関係において、立木間距離が大きいほど立木間中央の崩壊防止力は小さい傾向がみられました。

→表層崩壊が発生しやすいとされる斜面傾斜35°以上の急斜面、特に地下水位が上昇しやすい0次谷などの凹型斜面で調整伐を行う際には、立木間距離の空けすぎに注意する必要があります。

■立木間中央では調整伐後の一時的な崩壊防止力の低下の影響がみられなくなるまで6～10年程度を要するケースがあると考えられました。

→根系成長が緩やかになる林齢30年生以上での調整伐は、地上部の健全性も考慮して可能な場合には、調整伐の実施年間隔を10年以上にした方がよいと考えられます。

検証したいこと②

山腹部で、調整伐と土砂止の効果は長期間持続するか？

土砂流亡を抑制するために調整伐と土砂止設置を行っています。三重大学との共同研究により、1期目の調査で、土砂流亡量は調整伐後に植生と落葉落枝による林床被覆率の上昇に伴って減少すること、土砂止を設置することで、さらに減少することを明らかにしました。2期目には、調整伐と土砂止設置に伴う土砂流亡量の変化を8年間調査し、土砂流亡抑制効果の持続期間を検証しました。

Q. 土砂流亡抑制効果の持続期間は？

A. 土砂流亡抑制効果は10年程度は持続することが推察された

1期目に設置した試験地のうちスギ林3カ所、ヒノキ林2カ所で土砂流亡量、林床被覆率の調査を8年間継続し、調整伐と土砂止設置の土砂流亡抑制効果の持続期間を検証しました。



試験地の位置



試験地(大台ヒノキ林)の状況

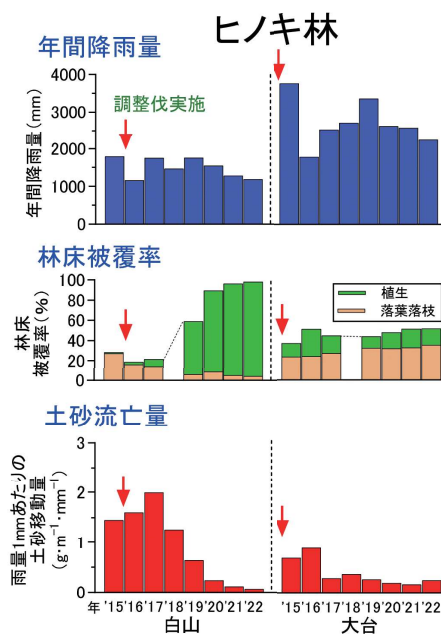
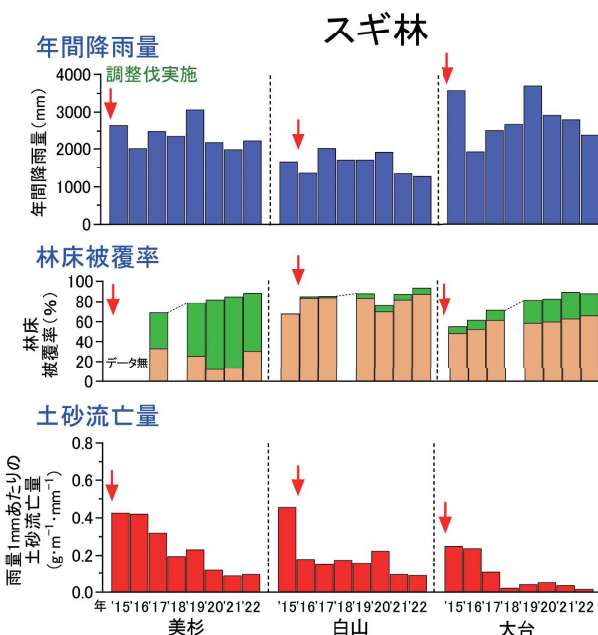


●土砂流亡量の経年変化

いずれの試験地でも調整伐後の林床被覆率上昇に伴って土砂流亡量は減少し、調整伐後7、8年経過時点でも低い水準で保たれていました。このとき、林床被覆率が高い状態が保たれていること、土砂止は形状が保たれ、背後に土砂が満砂していないことから、少なくとも10年程度は効果が持続すると推察されました。



林床被覆の変化
(白山ヒノキ林の例)



項目2 UAV(ドローン)を用いた森林モニタリング調査

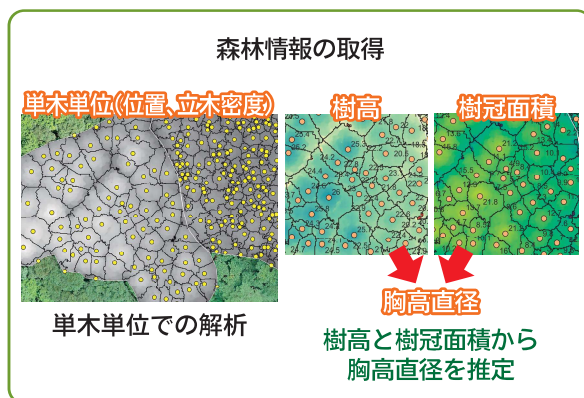
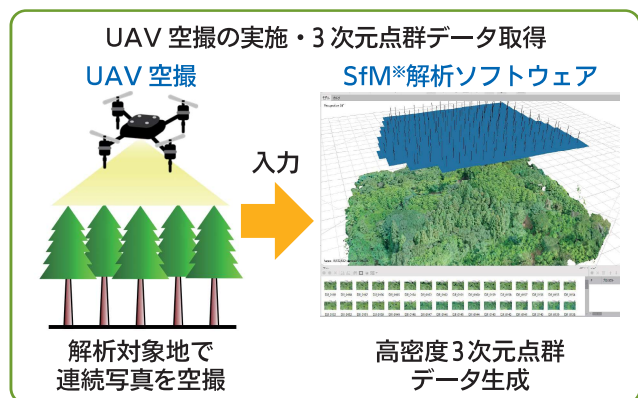
検証したいこと

溪岸部、山腹部で、調整伐は立木の成長を促進するか？

調整伐を実施することで立木の肥大成長を促進し、胸高直径30cm以上の森林を育成することを目指しています。1期目には航空レーザ(LiDAR)測量により調整伐の広域的な成長促進効果を確認しましたが、UAVを使用することで、LiDARよりも面積は限定されるものの低コストで即時的に森林情報を得られる可能性があります。そこで、2期目には、UAV空撮画像の解析によって成長促進効果を検証しました。

UAVを用いた森林モニタリング技術の開発

UAV空撮画像からSfM^{*}解析により生成した高密度点群データから地表面や地物の3次元位置構造を広範囲に取得することができます。今回、名古屋大学との共同研究で開発されたUAVを用いた森林モニタリング技術により高精度で広域的なモニタリングが可能となりました。



UAV空撮画像の解析により広域的、即時的な森林資源の評価が可能

Q. 直径成長は持続しているか？

A. 調整伐後の直径成長の持続傾向が広域に確認できた

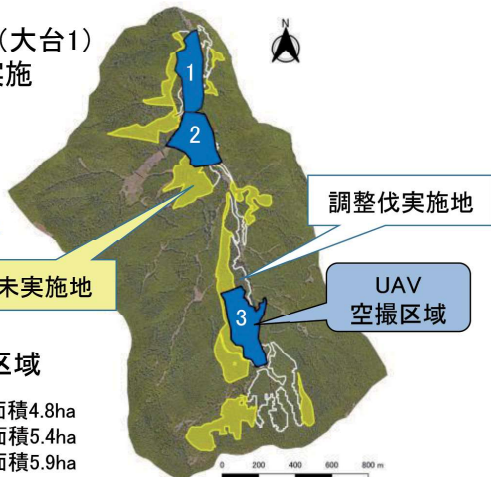
1期目にLiDARを用いて調整伐による直径成長の促進効果を確認したモニタリングエリア(大台1)において、引き続き、効果を検証するために、エリア内に3カ所の空撮区域を設定しました。調整伐後5年目(2019年度)と調整伐後9年目(2023年度)のUAV空撮により調整伐実施地の直径成長量を解析しました。また、2019年度に調整伐を行った3カ所(亀山、大台2、熊野)の事業地においても空撮区域を設定し、調整伐直後(2019年度)と調整伐後4年目(2023年度)のUAV空撮により同様の解析を行いました。

モニタリングエリア(大台1)
2014年度調整伐実施
面積 2.7km²

2015年度～2017年度
航空レーザ測量で
モニタリングを実施した

設定したUAV空撮区域

区域1 スギ林・ヒノキ林 面積4.8ha
区域2 スギ林 面積5.4ha
区域3 スギ林 面積5.9ha



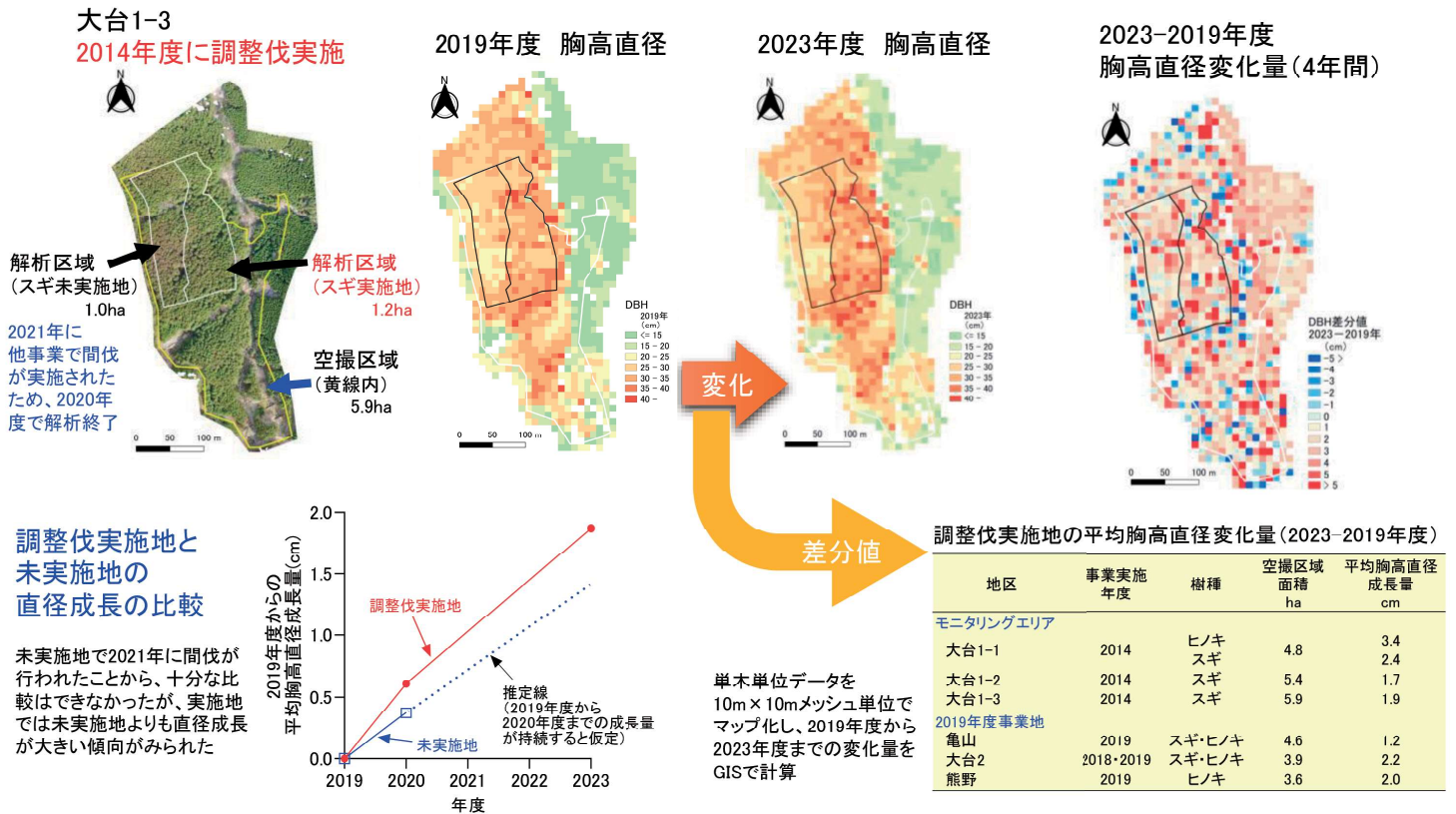
2019年度事業地に
設定した空撮区域



●調整伐の有無による直径成長の違い

いずれの空撮区域でも、調整伐実施地において直径成長が持続していることを広域的に確認できました。

●2019年度から2023年度までの胸高直径の変化 (モニタリングエリア区域3の例)



Q. 森林状態の現況は？

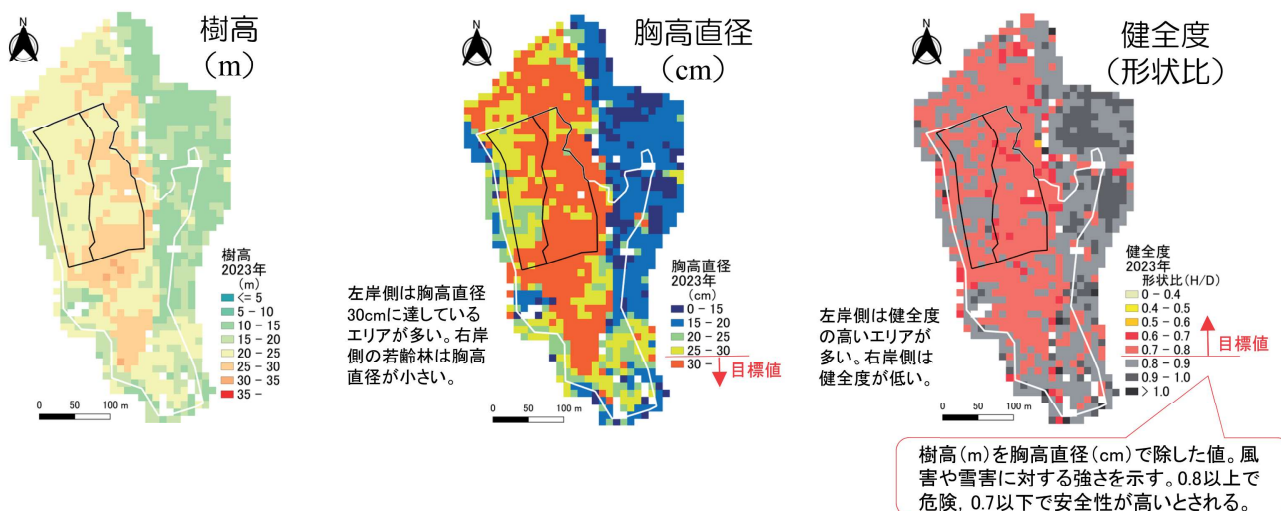
A. 調整伐後の森林状態の現況が広域に確認できた

2023年(調整伐後4年目あるいは9年目)のUAV空撮画像を解析し、樹高、胸高直径、健全度(形状比)の広域的な現状把握を行いました。

●森林状態の現況

各空撮区域の調整伐実施地における森林状態の現況を把握し、目標とする森林状態へ誘導するために森林整備を進める必要があるエリアや健全度を把握することができました。

●2023年度の樹高、胸高直径、健全度(モニタリングエリア区域3の例)



項目3 整備森林における危険木発生状況の調査

検証したいこと

渓流部で、危険木除去の流木発生抑制効果は持続するか？

渓流部が流木発生源にならないように危険木（倒流木）除去を行っています。過去に本事業によって危険木が除去された渓流部における現況調査、渓流部に設置した固定試験地における倒流木の発生、移動などの追跡調査を行い、危険木除去による流木発生抑制効果を検証しました。

Q. 危険木除去後、その状態は長期間持続するか？

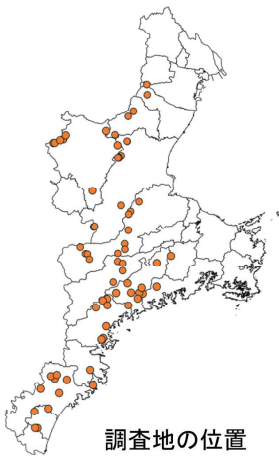
A. 著しい台風被害などを受けなければ、長期間にわたって除去効果は持続すると推察された

2014年度と2015年度事業で渓流部の危険木除去が行われた67カ所の事業地（延長55～2,015m、平均延長548m、総延長36,700m）を除去から1,212～2,333日（3～6年）後に踏査し、長さ1m以上かつ直径10cm以上の危険木（倒木あるいは流木）がみられた場合には、そのサイズ、発生要因などを調査しました（多点調査）。

また、三重大学との共同研究により、危険木を除去した整備渓流4カ所（延長229～673m）、未整備渓流2カ所（延長368m,745m）に固定試験地を設定し、危険木の発生、消失、移動状況を5年間追跡調査しました（追跡調査）。

●危険木除去前と調査時点の危険木量の比較

多点調査の結果、調査時点で渓流部に再発生していた危険木量は除去前の危険木量（除去した危険木量）と比較してわずかであり、2017年21号台風による風倒被害を受けた一部を除き、除去効果は持続していました。



管内	整備年度	箇所数	調査延長	調査年度
四日市	2014, 2015	5	1,460m	2019
津	2014, 2015	9	3,295m	2019, 2021
松阪	2014, 2015	15	9,530m	2020
伊勢	2014, 2015	11	7,280m	2021
伊賀	2014, 2015	8	4,545m	2021
尾鷲	2014, 2015	9	4,165m	2021
熊野	2014, 2015	10	6,425m	2021
合計		67	36,700m	

調査期間中の
 ・最大24時間雨量の最大値
 674mm（紀北町、2015年）
 ・年間降雨量の最大値
 4,482mm（紀北町、2019年）
 ・2017年21号台風の最大瞬間風速
 35.4m/s（津観測所）



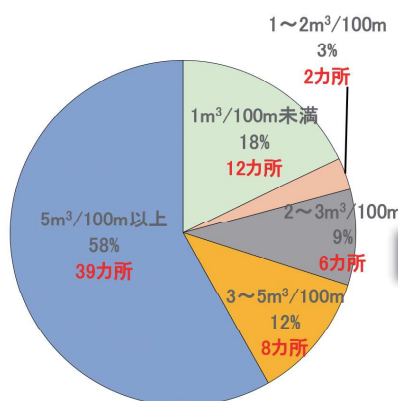
除去後の状態が保たれた溪流



除去後、台風により風倒が発生した溪流

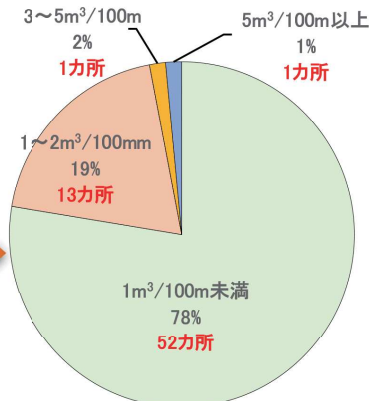
危険木除去前(除去量)

平均 12.4m³/100m



除去後調査時点

平均 0.8m³/100m



●危険木量別の事業地数割合(67カ所)

除去前：5m³/100m以上の事業地の割合が半数以上

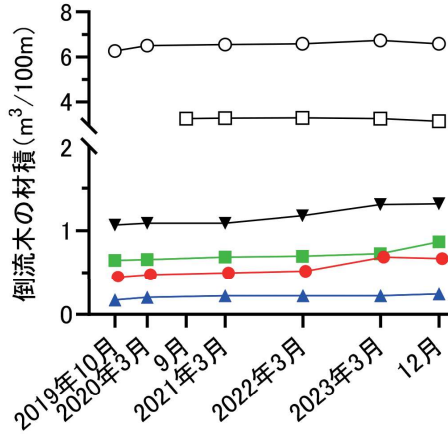
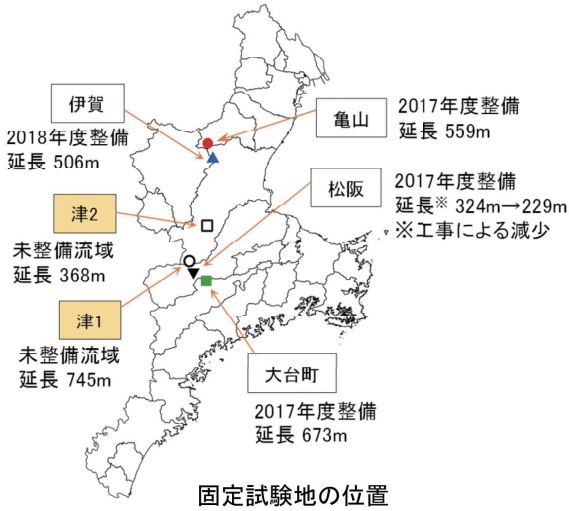
除去後：5m³/100m以上は2017年台風21号の影響がみられた1カ所のみ。1m³/100m未満の事業地が大半

● 溪流部の試験地における危険木量の経年変化

固定試験地における追跡調査でも、調査を行った5年間に危険木量はほとんど変化しませんでした。



多点調査、追跡調査の結果より、5~6年程度は除去効果が維持されており、著しい台風被害などを受けなければ、今後も長期間にわたって除去効果は持続すると推察されました。



Q. 溪流部に危険木を発生させないためには？

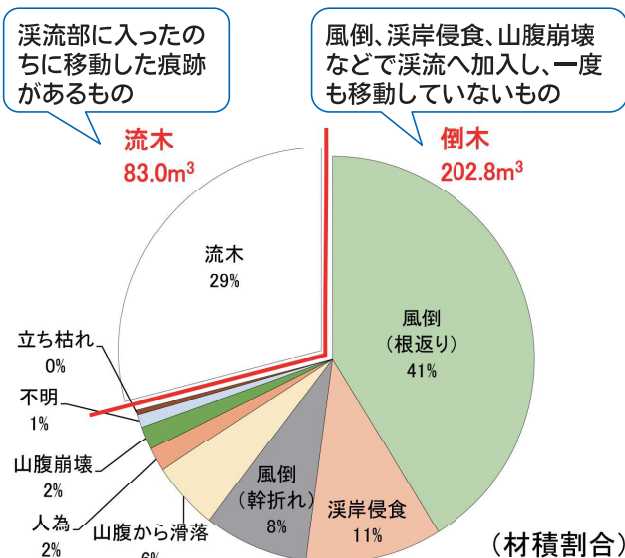
**A. 調整伐の際に、風倒(根返り、幹折れ)しやすい立木、
 溪岸侵食で倒れやすい立木を選木、伐採する**

● 危険木の発生要因から考える発生源対策

多点調査で確認された全危険木の発生要因のうち、強風に起因する立木の風倒(根返り、幹折れ)、溪岸侵食の割合が大半を占めており、これらの発生を抑えることで危険木を大幅に減らせる可能性があります。そのため、溪流部周辺の調整伐では、以下の立木を可能な限り選木し、伐採することが重要です。

- 周辺の立木よりも形状比*が高い立木 ※P7 健全度の説明を参照
- 根系発達が弱いと考えられる立木(周辺の立木よりも胸高直径が小さいものは根系発達が弱いことが多い)
- 溪岸侵食を受ける危険性の高い立木

● 再発生していた全危険木(67カ所、285.8m³)の発生要因の割合



主要な発生要因





みえ森と緑の県民税
災害に強い森林づくり推進事業
効果検証にかかる調査・研究事業の結果(第2期)

発行年月：令和6年3月

編集・発行：三重県林業研究所 研究課
〒515-2602 三重県津市白山町二本木 3769-1
電話：059-262-5351 / FAX：059-262-0960
Email：ringi@pref.mie.lg.jp