

松本広域森林組合・長野県森林組合連合会（長野県）

アカマツ林の再生と豊かな森を目指して

松本市四賀地区の取組み

助成団体の概要

	内 容	
1.団体名	松本広域森林組合	長野県森林組合連合会
2.所在地	安曇野市三郷温 4000	長野市大字中御所字岡田 30-16
3.代表者名	代表理事組合長 吉田 満男	代表理事会長 藤原 忠彦
4.管内の面積	管内民有林面積 84,641ha うち人工林面積 42,012ha うち組合員所有面積 59,855ha	
5.役員数	理事 20 名（うち常勤 1 名） 監事 3 名	理事 10 名（うち常勤 2 名） 監事 3 名
6.職員数	事務職員 28 名 技能職員 40 名	42 名
7.プランナー人数	5 名（うち認定プランナー 5 名）	
8.作業班の構成	造林班 5 班 21 名 林産班 4 班 19 名	
9.主な事業実績	(令和 3 年 1 月決算の実績) 指導事業 884 千円 販売林産事業 390,876 千円 加工事業 16,832 千円 森林整備 426,083 千円 利用事業 245,143 千円 購買事業 80,671 千円	(令和 2 年 12 月決算の実績) 指導事業 18,988 千円 販売事業 1,863,101 千円 加工事業 39,885 千円 森林整備事業 320,140 千円
10.団体の沿革	・平成 19 年 2 月 1 日設立 あづみ・筑北・筑南・松本・穂高 町森林組合の 5 組合が合併 ・平成 27 年 7 月 31 日 中核森林組合認定	昭和 17 年 12 月 30 日設立
11.団体の特色	・地域林業の中核として 3 市 5 村 の森林整備を主体に、管内の大型 製材工場・バイオマス施設等への 流通を通じて地域資源の循環利用 に取り組んでいる ・組合員数 10,051 人	・5 箇所の木材センターを拠点 に、県内素材生産量の約 50%の 丸太を取扱い、木材の有利販売を 行って山元への還元を図っている ・近年は UAV や GNSS 等 ICT 機器の現場での普及、活用に取り 組んでいる

1. 地域の概要

松本市は長野県のほぼ中央部、松本平の中心に位置し、総面積は 978.47 km²、南北に 41.3 km、東西に 52.2 kmに広がる中核市である（図-1）。

北は大町市、安曇野市、東は上田市、南は塩尻市、岡谷市、木曽郡木曽町、西は岐阜県高山市に接している。西の北アルプス槍ヶ岳・穂高岳を源とし、松本平を潤して北上する梓川、そこへ東の美ヶ原高原からの薄川、南の木曽谷からの奈良井川が合流している。

また、地域総面積 97,847ha の 80%にあたる 78,442ha が森林であり、その 49%、38,270ha が民有林となっている。この民有林のうち人工林は 19,510ha で、人工林率 51%である。

樹種は、高海拔、内陸的で日較差の大きい、かつ寡雨乾燥の寒冷な気候を反映して、カラマツが 13,440ha で人工林の 69%と優占し、樹種全体としても 35%を占めており、次いでアカマツが 6,119ha で 16%、スギ・ヒノキは沢筋あるいは山麓の一部適地に植林されている。近年の造林意欲の停滞から、幼齢林は極めて少なくなっている。天然林では、天然性アカマツや、かつて薪炭林であった広葉樹林分が多く、造林不適な急斜面に分布している。

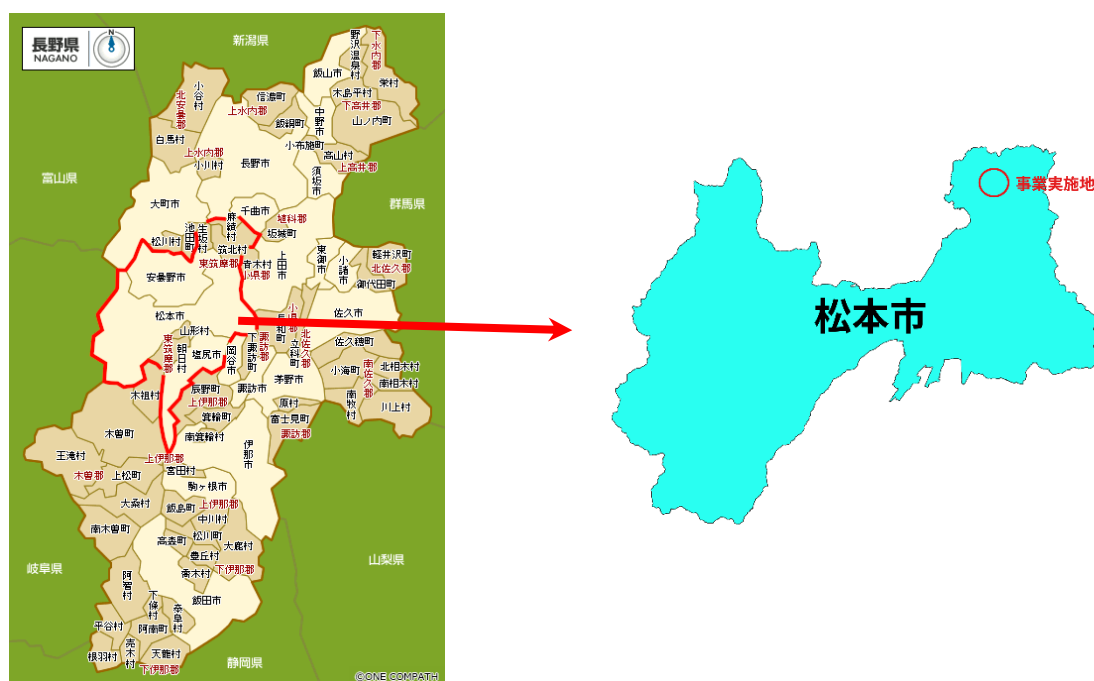


図-1 事業地の位置

2. 松本広域森林組合・長野県森林組合連合会の事業概要

(1) 松本広域森林組合の事業概要

当組合は安曇野市に本所を構え、管内に 4 支所を置き事業を行っている。また、1 支所には木材加工施設を併設している。

組合運営は、『森（もり）との絆、人（組合員）との絆を大切に、地域森林管理、林業の核となる組織であり、組合員あつての組合であることを忘れてはならない』を

基本理念に、未来に続く緑豊かな森林を育て、木材の有効利用による資源循環型社会の形成と森林教育により、地域社会への貢献を目指して事業を行っている。

当組合は平成 19 年の合併による設立後、林産事業に主力を置き、高性能林業機械の導入、技能者の育成を進め、令和 2 年度の素材生産量は 26,000 m³で中期計画では 33,000 m³を目標にしている。森林整備部門においては、地域ごとに組合員への説明会を行い、施業の集約化・森林経営計画の作成を進め、令和 2 年度末で 29 団地 2,267ha の計画を作成し搬出間伐を主に取り組んでいる。

生産された木材の流通は、長野県森林組合連合会中信木材センターとの連携により、系統のスケールメリットを生かした流通と、中間土場施設『信州 wood ステーション塩尻』（平成 28 年運用開始）を組合筑南支所に併設し、輸送コストの削減と『信州 F・POWER プロジェクト』により設置された大型製材工場への木材の納入を行っている。また筑北支所併設の木材加工施設では円柱加工を主に行い、木材の付加価値を高めた加工販売を行っている。

今後は地元で稼働が始まった大型木質バイオマス発電施設への燃料用材供給も行いながら木材生産の能力強化を図っていく。

(2) 長野県森林組合連合会の概要

当連合会は、長野市の本所に総務部・指導利用部・業務部を構え、県内 5 か所に丸太の販売等を行う木材センターを設置している。昭和 17 年に設立され、近年は販売事業に主力を置き、市売に加えて山土場からの直送販売によるコスト削減を行い、系統のスケールメリットを生かした有利販売に努めて山元への還元を図っている。県内素材生産量の約半数を取扱い、令和 2 年度の取扱量は 248,133 m³であった。

長野県は、民有林面積の約半分がカラマツであり、当連合会が扱う樹種もカラマツの割合が最も多い。カラマツは近年、合板や集成材の需要が安定的にあるため、長野県の林業を支える重要な樹種となっている。また、アカマツや広葉樹等の素材生産量も多いため、各木材センターでは樹種に応じた販売を行い、木材の価値が最大限に生かせるよう取り組んでいる。また、SGEC の CoC 認証を取得し、認証材の普及に努めている。

小諸市の東信木材センター及び辰野町の南信木材センターは、カラマツ小径木の加工場を併設し、付加価値を高めた販売に力を入れている。さらに近年は、県内各地で木質バイオマス発電所の稼働が相次ぎ、木材需要が高まっていることから、エネルギー利用を含めた木材の安定供給に努めている。

また、ここ数年は、現場での労務負担軽減を目的に、UAV や GNSS を用いた森林調査や測量手法の検討を行い、研修会等を通じて普及と活用を進めている。

3. 事業名

アカマツ林の再生と豊かな森を目指して ～松本市四賀地区の取組み～

4. 事業目的

長野県では、マツノザイセンチュウによる被害が年々拡大し、その対策は急を要している。その中でも松本市四賀地区は、昔からアカマツ林が多く松茸の産地としてもアカマツ林が守られてきたが、被害が特に激しい地域である。所有者負担での被害木の除去や森林の再生ができる状況ではなく、山地災害の危険度も増しており、森林の再生が地域全体の課題である。

本事業では被害木の活用とアカマツ林の再生、地域森林の保全機能維持の為の森林整備の方向性を検討し、森林の再生を図る。また、実施に当たっては、森林組合と系統組織である県森連との共同実施により効率的な計画策定、検証分析等実施体制を構築し系統組織の強化を図る。

5. 事業内容の概要

四賀地区は松本市の北東部に位置し、中心部の標高 600m・面積約 90k m²・人口 4,500 人の四方を山に囲まれた山村地域である。本事業地は平成 26 年 5 月に森林経営計画を作成した区域で、計画区域面積 50ha、森林所有者数 42 人、森林構成樹種は、アカマツ 70%、広葉樹 15%、スギ他 15%である。地区内のマツノザイセンチュウによる被害は市外北部より侵入し現在では四賀地区全域におよび、本事業地も激害地となっている。

ハード事業として、区域内に A 施工区 4.7ha、B 施工区 4.3ha の 2 箇所を設定する。A 施工区においては、将来の大径木候補として一部健全木(60 本)を残すが、基本的には被害木(樹勢の弱いアカマツを含む)を伐採し、地拵え及び植栽を行う。B 施工区においては、アカマツ(樹勢の弱いアカマツを含む)はほぼ枯れ切って時間が経ち、広葉樹が生育しているので、アカマツは全木伐採し、広葉樹実生による更新の体系とし施業を行う。A 施工区においては 680m、B 施工区においては 260mの作業道開設を行う。また、A 施工区の植栽に当たっては、抵抗性家系アカマツを植栽し再生を図る。B 施工区においては、3.0haの伐採跡における更新状況を確認しながら、低木除去を実施し、区域の広葉樹化における土壌保全機能維持増進森林としての向上を図る。被害材の利用においては、被害拡大防止と木材資源の有効利用を考え全てチップ化による流通を行うため、A 施工区においては現地に小型チップパー機を、B 施工区においては、施工区域から 300m離れた組合支所に中型チップパー機を使用しチップ化を行う。流通は、県森連と連携し地域の木質バイオマス発電施設への納入を行う。

ソフト事業として、UAV による資源量の把握を行う。また、伐採からチップ化までの工程調査を行い、上記 2 種のチップパー機を比較し、生産性やランニングコストの検証を行い、今後導入する機械の検討を行う。

将来的には事業成果を元にアカマツ林の再生や広葉樹による更新を目指すためのゾ

ーニングを行い、地域全体の森林の再生を図る。

実施に当たっては、アカマツの植栽等、研究機関である長野県林業総合センターの専門的意見を聞き、松本市、県地域振興局の助言協力を頂きながら進める。

(1) 長期ビジョンと目標林型

① 木材生産機能森林（A 施工区）

残存する健全木は少ないが将来大径材として収穫できる可能性があり、保育の費用を賄うために一部の健全木を残す(万が一被害を受けた場合、本事業による路網搬出・チップ化により迅速に対応)。その上で抵抗性家系アカマツを植栽本数 3,000 本/ha の植栽により 40 年生ままでに 5 回の間伐を行い最終成立本数 350~400 本/ha、伐採林齢 80 年以上の長伐期施業とし、単層アカマツ林の再生を目標とする。

② 土壌保全機能維持増進森林（B 施工区）

施工区内には、貴重な農業用水源の沢があり、水瓶としての森林機能維持増進のため、アカマツ被害木を全木伐採し有用広葉樹の育成を図る。また施工区における不用低木除去を併せて行い、広葉樹化を図り土壌保全機能を高める森林を目標とする。伐採林齢は 40 年以上とし、択伐による施業を目標とする。

(2) 事業の内容

① 資源量調査

a. UAV 活用の背景と目的及び手法

本事業地は、松くい虫被害が激しく、倒木や倒れかかったアカマツが多いため、林内での調査は危険を伴うことから（図-2）、資源量把握については UAV を活用した。アカマツ被害林の資源活用では、伐出後の用途がバイオマス等低価格の利用であり、資源量調査の費用を抑える必要があることから、UAV レーザや RTK 測位が可能な UAV ではなく、現在各地で導入が



図-2 作業前の林内の様子

進む汎用型 UAV の空撮画像から資源量を算出することとした。

UAV による空撮及びオルソ画像の作成については、県森連で実施し、資源量把握については、信州大学のベンチャー企業である精密林業計測(株)に委託した。本事業地では松くい虫被害による枯損木が多いことから、健全木と枯損木分類の解析も併せて依頼した。

b. 空撮とオルソ画像の作成

空撮は、県森連が所有する DJI 社の MAVIC2 PRO で実施した。撮影の条件は表-1 のとおりである。

表-1 撮影条件

UAV	DJI MAVIC2 PRO
対地高度	100m
飛行速度	15.3km/h
撮影間隔	2 秒
地上画素寸法	18mm
OL/SL	90%/76%
天候	曇り
GCP	12 箇所

画像の位置精度を担保する観点から、空撮の際には、A 施工区、B 施工区の周囲 11 箇所に GCP (Ground Control Point) を設け、対空標識を設置して高精度な GNSS により RTK 測位を行い緯度経度及び標高値を取得した。Metashape での処理時には、この GCP の座標値により絶対位置の補正を行った。

本事業地は変電所に隣接しており、事業地内に高圧鉄塔と送電線があることから、空撮ルートを選定は、電力会社と打ち合わせの上、標高データを活用して慎重に行った。特に、B 施工区では施工区内を送電線が横断しており、UAV のコースが送電線を横断する形になったが、対地高度 100m に対して、高圧鉄塔の高さは最大で 60m 以下であったことから、UAV の飛行ルートは、鉄塔や送電線から 30m 以上の距離を確保できた (図-3)。

A 施工区では、576 枚、B 施工区では 403 枚の写真を撮影し、それぞれ Agisoft 社の Metashape により SfM 処理 (三次元形状復元計算) を行って、三次元点群データ及び資源量算出に必要なオルソ画像 (図-4、図-6) 及び DSM (数値表層モデル) (図-5、図-7) の作成を行った。

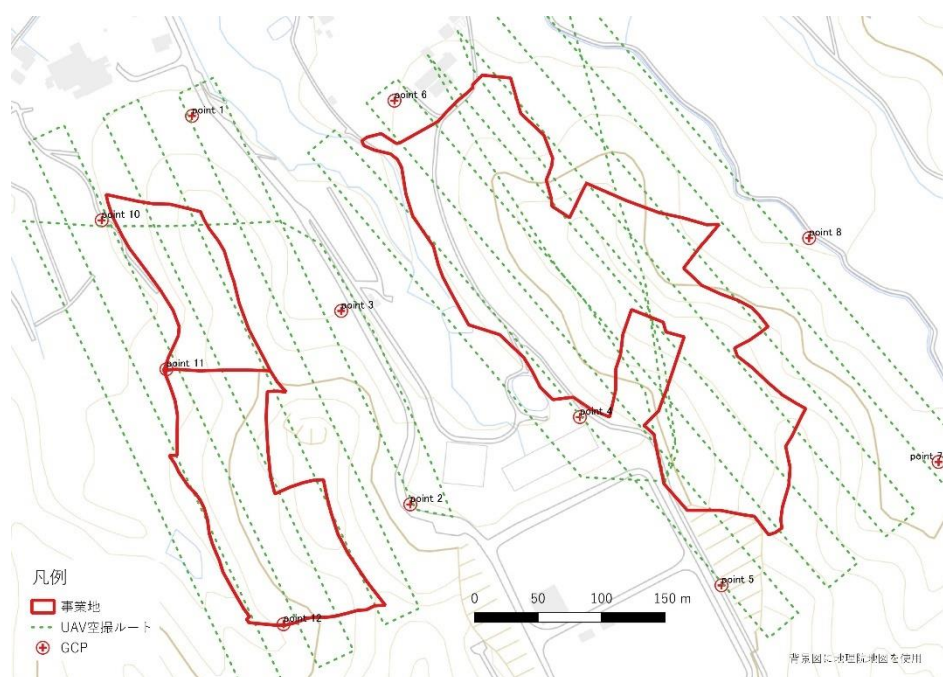


図-3 事業地と UAV 空撮ルート



図-4 事業地オルソ画像 (A 施工区)

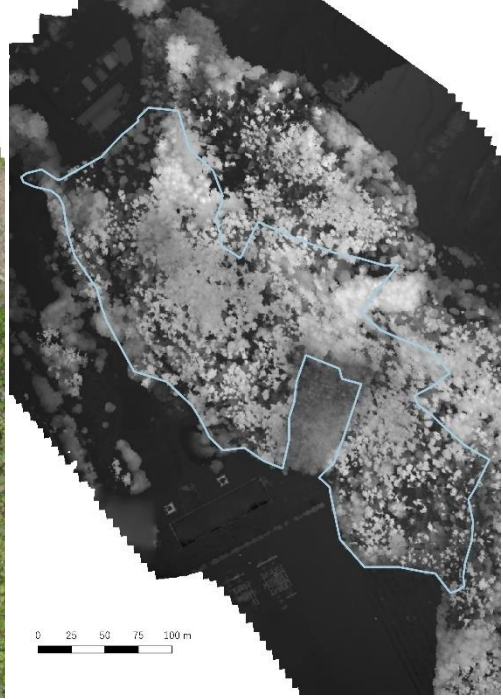


図-5 事業地 DSM (A 施工区)



図-6 事業地オルソ画像 (B 施工区)

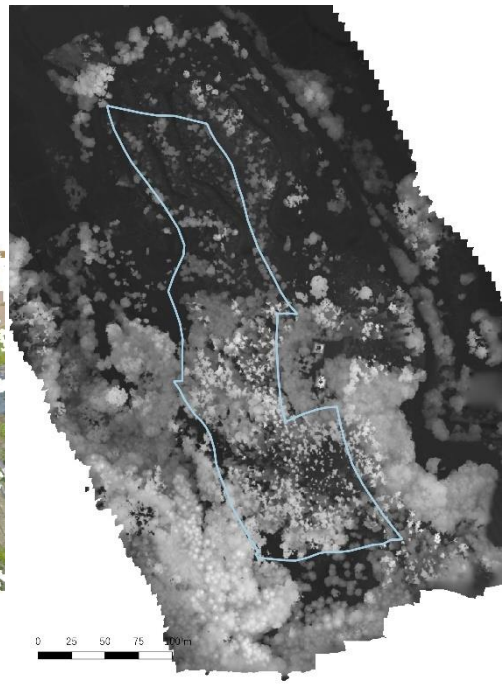


図-7 事業地 DSM (B 施工区)

c. 資源量の把握

(a) オルソ画像と DSM から算出された資源量

アカマツ資源量の算出は、Metashape で作成した DSM と長野県が整備した航空レーザデータから作成した DTM（数値地形モデル）の差分から CHM（樹冠高モデル）を作成し、健全木と枯損木の分類及び樹頂点抽出を行い（図-9、図-10）、樹高と胸高直径の関係式（図-8）から胸高直径を算出したうえで、立木材積式により資源量の把握を行った。A 施工区及び B 施工区それぞれの資源量は表-2 及び表-3 のとおりである。樹高と胸高直径については、代替地において直径階ごとのサンプル調査を行った。

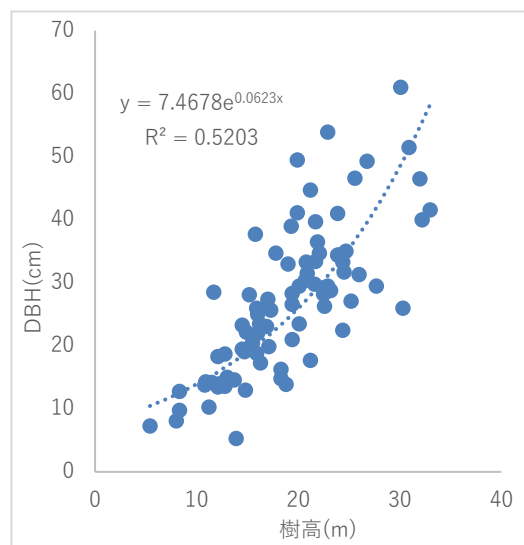


図-8 樹高-胸高直径回帰式

解析の結果、A 施工区の資源量は健全木 374.87m³、被害木 850.50m³となり、全体の 68.9%が被害木であった。B 施工区では健全木 31.66m³に対して被害木は 379.85m³となり、全体の 92.3%が被害木であった。

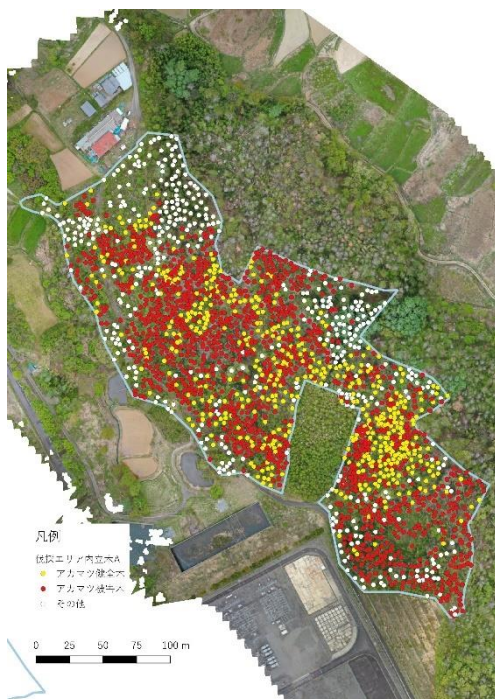


図-9 単木解析結果 (A 施工区)

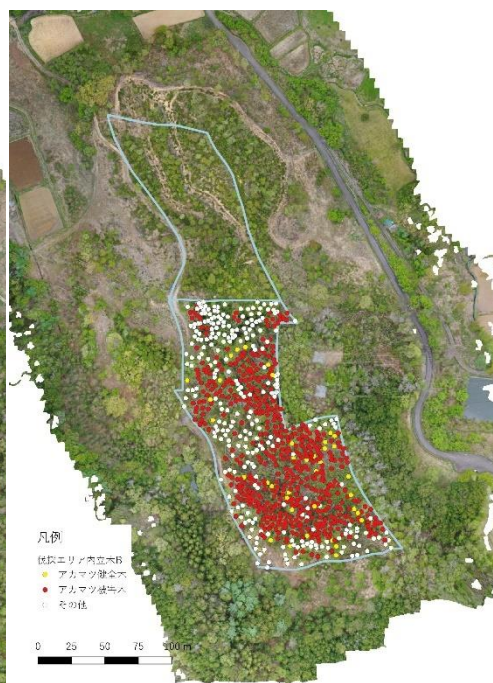


図-10 単木解析結果 (B 施工区)

表-2 資源量解析結果 (A 施工区)

A 施工区	本数 (本)	平均樹高 (m)	平均 DBH (cm)	単木材積 (m ³)	資源量 (m ³)	本数密度 (本/ha)	Ha あたり材積 (m ³ /ha)
健全木	487	23.21	32.52	0.77	374.87	103	79.20
被害木	1,196	22.26	30.88	0.69	830.50	253	175.47
合計	1,683				1,205.37	356	254.67

表-3 資源量解析結果 (B 施工区)

B 施工区	本数 (本)	平均樹高 (m)	平均 DBH (cm)	単木材積 (m ³)	資源量 (m ³)	本数密度 (本/ha)	Ha あたり材積 (m ³ /ha)
健全木	38	22.88	32.90	0.83	31.66	21	17.88
被害木	490	23.13	32.52	0.78	379.85	277	214.49
合計	528				411.51	298	232.37

(b) 倒伏木を含めた資源量把握

本事業地は松くい虫被害による枯損が進んだ影響で倒伏木が多いことから、オルソ画像と UAV による資源量の解析結果を用いて、GIS 上で仮想プロット調査を行い、倒伏木の材積推定を行った。具体的には、倒伏木のないエリアに 10m × 10m の仮想プロットを設け、倒伏木の発生する前の立木密度を把握し、エリアの面積を乗じて得た数字から、今回抽出された本数を減じて得た本数を倒伏木の本数とした。この本数に平均の単木材積を乗じて倒伏木の資源量を算出した。仮想プロットは、A 施工区で 10 箇所、B 施工区で 5 箇所設けた (図-11、図-12)。

仮想プロット調査から求めた推定倒伏木の材積は、A 施工区で 182.58 m³/ha、B 施工区で 196.08 m³/ha となり、推定倒伏木を含めたそれぞれの資源量は、A 施工区で 2,068.97 m³、B 施工区で 758.58 m³となった (表-4)。計画当初のプロット調査から算出した資源量は、A 施工区で 620 m³、B 施工区で 180 m³の見込みであったため、UAV による資源量把握結果は A 施工区で当初計画の 3.34 倍、倒伏木の多かった B 施工区では 4.22 倍と大きくなった。冒頭でも述べた通り、本事業地は倒伏木が多く、プロット調査では安全を優先したため、標準的なデータの取得が難しかったと考えられる。



図-11 仮想プロット調査 (A 施工区)



図-12 仮想プロット調査 (B 施工区)

表-4 推定倒伏木を含めたアカマツ資源量

	A 区 (4.73ha)				B 区 (1.77ha)			
	本数 (本)	資源量 (m ³)	本数密度 (本/ha)	蓄積量 (m ³ /ha)	本数 (本)	資源量 (m ³)	本数密度 (本/ha)	蓄積量 (m ³ /ha)
健全木	487	374.87	103	79.2	38	31.66	21	17.88
枯損木	1,196	830.50	253	175.47	490	379.85	277	214.49
推定 倒伏木	1,244	863.60	263	182.58	448	347.06	253	196.08
合計	2,926.99	2,068.97	619	437.25	975.81	758.58	551	428.45

② 更新木調査

B 施工区では、アカマツが枯損してから時間が経過しており、下層において広葉樹の更新が見られたことから、伐採後に保全する樹種を検討するため、更新木の調査を実施した。更新木調査は2m×10mのベルトプロットを3箇所設けて行った。

プロット内には17種240本の更新木が確認された。更新木の密度は4,000本/haである。高木層を形成する樹種では上木を母樹として天然更新したアカマツが最も多かったが、コナラやクリの個体数も多く、平均樹高ではサクラが大きかった(図-13)。

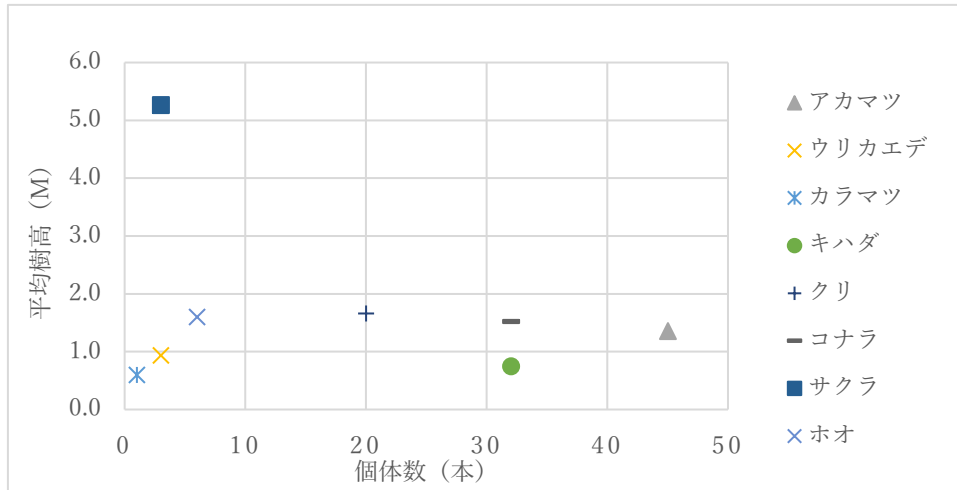


図-13 更新木のうち高木層の本数と樹高

③ ハード事業

a. A 施工区伐出

搬出については、通常であれば作業道部分の最低限の幅の伐開を行って道を開設していくが、本事業では枯損したアカマツ林で作業中にアカマツが倒れる危険性があり、事故のリスクを下げるために作業道開設作業中に安全を確保できる幅で伐採を行うこととなった。作業システムはA・B 施工区共に図-14 のとおりである。

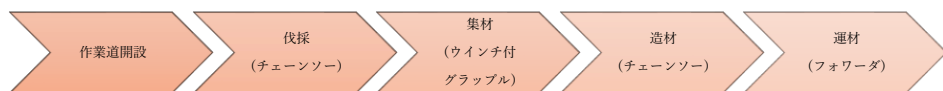


図-14 作業システム

A 施工区は枯損の進んだアカマツ林で、当初計画では大径材として収穫可能な健全木は残す予定であったが、該当するアカマツが少なく尾根筋近くに若干残すのみでほぼ皆伐という状況になった。また、D 材の有効利用を図るためにアカマツに関しては燃料材として枝条を運び出すとともに丸太を路肩に集積する際の敷物としても利用した。枯損後に腐朽が進んでしまった材については燃料として利用できないことから現地に残置することとなった(図-15、図-16)。



図-15 伐倒前の倒木処理



図-16 伐倒作業

b. B 施工区伐出

B 施工区について、作業システムは A 施工区と同じである。作業内容は将来上層木となり得る広葉樹を残しながらのアカマツの伐採搬出となったが、アカマツを全て伐採することを優先して、そのために支障となる広葉樹は伐採する条件で作業を行うこととなった。ただし、枯損木は重心が定まりにくく、広葉樹を避けながら伐倒方向を狙う作業となり、手間のかかる状況であった（図-17、図-18）。



図-17 伐倒作業



図-18 伐倒時に砕けた伐倒木

c. チップ化作業とその検証

(a) 小型チップパーによるチップ化

B 施工区から伐出した材の一部について、小型チップパー（Heizowat 社製 Heizohack HM6-300）（図-19）を用いてチップ化した。投入可能な丸太の最大径が 30 cm までであったため、本事業地から伐出したアカマツの場合、そのままでは



図-19 HM6-300

投入不可なものが多く、半分若しくはそれ以上に割る作業が必要となった。そのため、規格内の丸太を選別後、そのままチップ化する方法とスプリッターで縦方向に割ってからチップ化する方法の2パターンで作業を行った(図-20)。オペレーションについてはリモコン操作ではないため、ドラムの回転数の上げ下げやシューターの向きの調整などはグラップルのオペレータがその都度チップャーまで行き、操作する必要があった。



図-20 細く割りながらチップ化作業を実施

今回使用した小型チップャーは、エンジンが空冷式であったため、気温が高く無風や微風の日には1時間使用したら15分アイドリングしてオーバーヒートしないよう配慮が必要であった。

(b) 中型チップャーによるチップ化



図-21 LB-M512C



図-22 作業状況

A施工区から伐出した材の一部については、中型チップャー(Mobark社製 LOGBUSTER LB-M512C)(図-21)を用いてチップ化を行った。中型チップャーについては、投入可能な最大径が60cm程度までであったため、スプリッターで割る作業は必要なかった。また、20cm以下の丸太であれば3~4本まとめて投入が可能であった。使用した機種は、自走可能であったが鉄製クローラとなっており、A施工区の土場は搬入経路が舗装路であったため、舗装に養生を行いながらの移動となった。オペレーションについてはほぼ全ての動作においてリモコンでの操作が可能であったためグラップルのオペレータが投入を行いながら自ら操作を行った(図-22)。

(c) チッパー機の生産性比較

A 施工区及び B 施工区におけるチップ化作業の生産性について、ビデオ観測による工程調査を実施し、労働生産性を算出した（表-5）ところ、A 施工区で用いた中型チッパーの生産性は 17.878t/h、B 施工区で用いた小型チッパーの生産性は 4.452t/h であった。サイクル数は中型チッパー47 回、小型チッパー125 回である。

作業時間に占めるチッパーの切削時間の割合は、中型チッパーでは 69.3% であった一方、小型チッパーでは、39.9%であり、スプリッターで割る作業やチッパー機の冷却、調整等の付帯作業や遅延が発生し、ロスが大きいことが確認された。一方、積み込みについては、アームロール式の大型コンテナ車を使用して 2 つの 40 m³積コンテナを交互に使用したが、コンテナの入れ替えのサイクルよりコンテナを一杯にする時間の方が短かったため、チッパー機を生産量に対して運搬が追い付かず、全体としてチッパー機が待機する時間が多くなってしまった。生産性の観点からは、中型チッパーが大幅に優位であるが、トラックの運搬の流れも踏まえて現場に合わせた機種選択が重要であることがわかった。

表-5 小型チッパーと中型チッパーの生産性比較

	小型チッパー			中型チッパー		
	稼働時間(秒)	生産性(t/h)	生産性(m ³ /h)	稼働時間(秒)	生産性(t/h)	生産性(m ³ /h)
切削	4,143	11.157	44.629	1,536	25.805	103.219
投入(待機含む)	6,240			681		
作業全体	10,383	4.452	17.808	2,217	17.878	71.513

d. 低木除去

B 施工区においては枯損が進んで時間が経っており、地表への日当たりが良くなったために様々な植生が繁茂している状態となっていた。今回は広葉樹林化を図るために有用広葉樹の健全な育成を目的として低木除去を行う



こととし、前述の調査結果を元に長野県林業総合センター育林部の指導を頂き、クリ・コナラ・サクラを主な育成対象とし、それ以外の植生を伐採することとした。所々でアカマツの実生が密生していたが、将来的には枯損が予想されるためこれらも除去を行った（図-23）。

図-23 更新したアカマツ実生

e. 植栽

松本広域森林組合では、約10年前から松くい虫による被害地での伐採に取り組んできた。これまでは伐採跡地における森林の再生方法として、実生や萌芽更新の広葉樹を育てる天然更新や、広葉樹林化を図ってコナラ等の植栽を行ってきた。伐採跡地は日当たりが良くなるため、陽樹であるアカマツによる実生の再生もあり得たが、再び松くい虫被害を受けて枯損を繰り返すことが考えられたためこれまではあえてアカマツを再生させることはしなかった。

しかし、本事業では市全体のアカマツの45%が集中して存在する四賀地区において、地域住民のアカマツに対する愛着や乾燥した気候にも適した樹種であることから、試験的にアカマツの植栽を行って地域にアカマツ林を再生する試みを行うこととなった(図-24)。今回植栽を行うのはA施工区で、植栽する苗木についてはマツノザイセンチュウに対して抵抗性を持ついわゆる『マツノザイセンチュウ抵



図-24 植栽作業

抗性家系アカマツ』を用いることとし、将来的な枯損被害を少しでも和らげることでアカマツ林としての再生に効果をもたらすことを期待した。ただし、センチュウにたいして完全な耐性を持つわけではなく、今回植栽を行った苗木においても三分の一程度は枯損する恐れがあるということであった。

④ オルソ画像を用いた境界確定

本事業では、労務負担の軽減を目的として、オルソ画像を用いた境界確定を併せて実施した。伐採前に所有者立会いのもと境界杭を打設しておき、伐採後に境界杭上に対空標識を設置したうえで、UAV空撮を実施してオルソ画像を作成し、GIS上でオルソ画像に写った対空標識をプロットすることで森林簿データの補正を行って境界を確定した(図-25)。オルソ画像作成の際は、伐採前の資源量調査の空撮の際に設けたGCPを用いて絶対位置の補正を行った。



図-25 オルソ画像から境界を修正

6. 事業の成果

(1) UAV を用いたアカマツ被害林の材積把握

本事業では、汎用型 UAV の空撮画像から、健全木と被害木の分類や単木材積の把握に加えて、倒伏木材積の推定を行うことができた。バイオマス活用を目的とした林分の資源量調査では、費用及び労務の負担軽減が欠かせないことから、資源量把握の手法として有効と考えられる。また、プロット調査とは異なり林内に立ち入らずに調査可能なため、倒伏木の多い林分では調査員のリスクの回避につながった。

本事業の出材量は、A 施工区で 1,443m³、B 施工区で 501m³であったことから、利用率を 70%として計算すると、UAV 空撮により把握した資源量と実際の出材量の差は、A 施工区で 5.27m³、B 施工区で 30.00m³となり、精度は A 施工区で 100%に近く、B 施工区でも 90%を超え、高い精度で算出することができた（表-6）。

表-6 UAV 空撮によるオルソ画像から算出した材積と実際の出材積の差

	推定蓄積量 (m ³)	利用率 70%材積 (m ³)	実際の出材量 (m ³)	精度 (%)
A 施工区	2,069.0	1,448.3	1,443.0	99.64
B 施工区	758.6	531.0	501.0	94.35

伐出を伴う事業では、所有者への還元や工期の見通しを立てる観点から、林分全体の材積の把握が不可欠である。本事業地のように立木配置がランダムで倒伏木が多い現場では、プロット調査では資源量の算出が困難であることから、全木調査が可能な UAV を用いた手法の優位性が確認された。

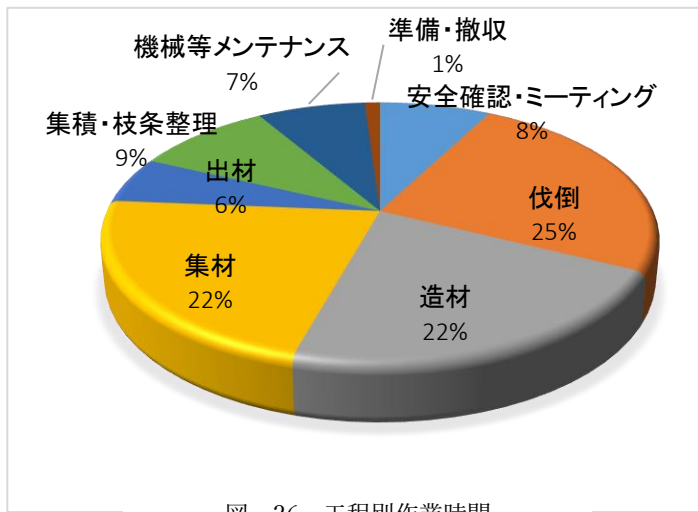
(2) 伐出作業

① A 施工区

搬出コストについては材積ベースで 8,671 円/m³となり、当組合で平均値としている 7,000 円/m³を上回る結果となった(表-7)。原因として考えられるのは作業班が2名体制であったため機動性にやや欠けたという点と、作業後の地拵を行いやすくすると同時に D 材の有効利用を図って枝条の搬出を行ったことが大きいと考えられる。また、集材に時間がかかった原因は、伐倒時に折れたものがあったためと考えられる。逆に、造材については先にも述べたが、燃料材としての利用であった

表-7 伐出費用

伐出経費	12,519,022 円
搬出材積	1,443.743 m ³
搬出重量	1,010.62 t
材積単価	8,671 円/m ³
重量単価	12,387 円/t



のもっとラフな造材でも良かったと思われる。この部分でコスト削減を図る必要があると考えられた(図-26)。施工前後の様子は写真の通りである(図-27、図-28)。

図-26 工程別作業時間

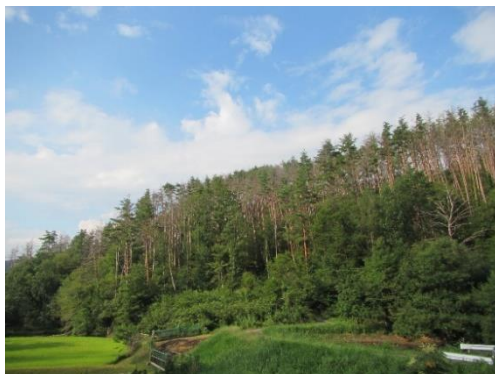


図-27 施工前



図-28 施工後

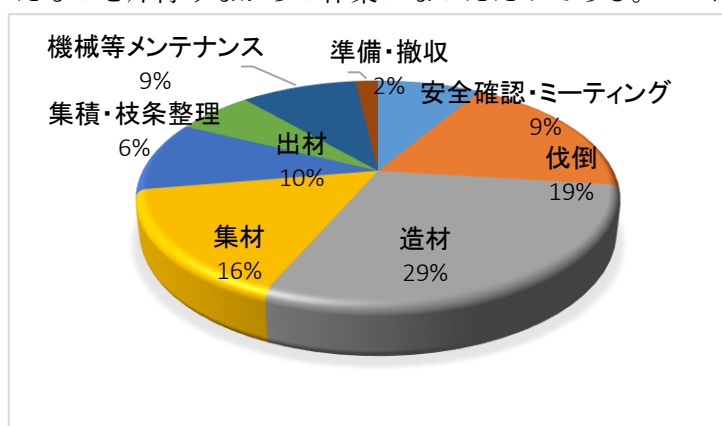
② B 施工区

B 施工区は将来上層木となり得る広葉樹を残しながらのアカマツの伐採搬出となったが、アカマツを全て伐採することを優先したため、支障となる広葉樹は伐採することになり皆伐に近い作業を行うこととなった。搬出コストは8,647 円/m³で偶然にも A 施工区と大差のない結果となった(表-8)。作業内容を見ると A 施工区に比べて造材にかかった時間が多く、全体の 1/3 を費やしている(図-29)。

表-8 伐出費用

伐出経費	4,335,810 円
搬出材積	501.371 m ³
搬出重量	350.96 t
材積単価	8,647 円/m ³
重量単価	12,354 円/t

これは、B 施工区では早くに枯損が進んでいたために、倒伏木が折り重なっていたものを片付けながらの作業になったためである。コスト縮減を考えるならば造材～集材での工程を圧縮したいところではあるが、枯損が進む前に伐採を行うのが最善であると考え



る。施工前後の様子は写真の通りである(図-30、図-31)。

図-29 工程別作業時間



図-30 施工前



図-31 施工後

(3) チップ化作業

本事業では、山側での付加価値を高める観点から、チップパー機導入の方向性を見定めるため、中型チップパーと小型チップパーの生産性と費用対効果を検証した。その結果、チップパー機自体の生産性の高低に関わらず、現場の土場や路網の整備状況が実際の生産力に大きく影響する結果となった。中型チップパーの生産性は高いが、本事業地では

大型のトラックの進入が難しく、転回や待機のできるスペースもないため、一日に搬出できるトラックの台数が限られてしまった。このため、チップターの生産能力が過剰な状態となった。また、チップ化しても価格面での優位性を確保することができず、丸太のまま搬出した方が、費用対効果で優位となった。今回はチップターの故障が重なったことも影響した。さらに、本事業開始時にはアカマツ被害木の搬出に関わる県の指導による材の移動制限が 6月～9月であったため、枯損木の利活用を進める上では山土場でのチップ化が有効と考えられたが、令和 2 年度途中からガイドラインの変更があり、現在は 6月～7月以外は丸太での輸送が認められていることから、山土場でのチップ化の意義は結果として小さくなった。

(4) 植栽

伐出により日照を遮る上層木が無くなったため、陽樹であるアカマツの適地となり発芽してくる実生が今回の植栽木と混交しないように今後の保育作業において実生アカマツは除去する予定である。ただし、一部でエリアを区切って区画を設け、実生を除去せずに残して経過を見ることとした。

(5) オルソ画像を用いた境界確定

境界確定については、通常所有者立ち合い後に測量が必要であるが、本事業地のように、伐採を行う現場であれば、地上に設置した対空標識が空撮画像に写るため、GIS上で境界と面積の把握が容易に可能であり、測量作業の軽減につながると考えられた。今回は、立ち合いができた所有者が少なく、施業班界の修正に留まったが、より多くの境界杭を打つことができれば、その点を結ぶことでより正確な境界の確定が可能となる。本事業では、労務負担の軽減に向けたオルソ画像活用の新たな手法として、試験的な検証を行うことができた。

7. 課題と取組方向

本事業地は送電線及び変電所に隣接しており、UAV の飛行に当たっては電力会社との事前調整が必要であった。UAV 空撮による資源把握の有用性は大きかったものの、現場を取り巻く環境や天候によっては UAV 空撮が困難なことも想定されることから、UAV による資源量把握はどんな現場でも実施可能というわけではない。調査手法の選択に当たっては、法令順守の上現場の状況に応じて柔軟に対応する必要があると考えられた。

A 施工区の施業については、アカマツ林の再生ということでアカマツを植栽することとなったが、伐採から植栽までの採算面からの費用削減の必要性があることと、今後萌芽してくる低木類や実生のアカマツに対してどの程度手をかけていかなければならないかも観察する必要がある。

B 施工区では既にある程度の広葉樹が成長していることと、今回のアカマツの伐採で危険が無くなったことによって里山としての機能を取り戻し始めたと考える。

チップ化に関しては、各地でバイオマス燃料材としての需要が高まっていることから、今回の結果を踏まえて積極的に進めることが重要であると思われた。しかし、チップの買取りについて水分率の低いチップであったにもかかわらず生トンでの取引となり、価格も低めであったことから、交渉により販売金額を上げることができたと考える。また、製造から運搬にかかる手順と方法もチップの機種を選定及び運搬方法を慎重に選択しないとどこかでボトルネックが生じて手待ちのロスが発生することがわかった。

8. 事業成果を踏まえた今後の展開

(1) UAV を用いた森林資源量の把握

UAV による資源量調査については、費用低減の観点から、極力汎用性の高い機器やソフトウェアを用いることで、これまでの林内に立ち入ったプロット調査や高性能だが高価格の機器類の利用を行わずにできる限り高精度なデータの把握に努めた。結果としては人力による従来のプロット調査に比べて精度の高いデータを得ることができた。また、今回のような倒木の多い林分においても方法を工夫することで精度を確保できたことは費用対効果の面や、調査に入る際の枯損木に対する危険を回避できる面においても非常に有効であることが確かめられた。

資源量解析については外部委託としたが、松本広域森林組合と県森連では、資源量解析について QGIS と統計ソフトの「R」を用いて解析費用をかけることなく自前でできるように検討を進めている。現状では今回のように健全木と枯損木の分類や樹種の把握は難しいが、一斉林における資源量把握は実用レベルの精度が確保できており、空撮画像活用の拡大につながっている。

また、GNSS についても現在 10 万円を切る価格でセンチ単位の誤差で位置情報を取得できる機器が登場しており、組合でも既に試験的に導入を始めており、自前での正確な位置測定ができるようになっている。

広葉樹や混交林の資源量把握については、専門の業者に依頼する必要があるが、施業現場の事前調査や資源量把握については、空撮画像から自前で解析していくことが可能となった。UAV 空撮は労務負荷が少なく、事業エリア全体の把握が可能であり、オルソ画像を GIS 上で管理することで情報の見える化が可能である。

森林の調査及び測量は正確性に加えてコスト削減が不可欠であることから、本事業での成果を踏まえ、他の事業や県内森林組合をはじめとした現場での活用と技術の普及に取り組んでいく。

(2) 被害材の活用とチップ化の可能性

今回チップ化に当たっては、チップ機の待機時間が多く発生したため、チップ生産のコストが膨らんでしまった。この結果、現在のチップの買取単価 (9,000 円/t) では利益を生むことができなかった (表-9)。ただ、原木で販売する場合でも、原木の買取単価 (7,000 円/t) では伐出費用を補えない。伐出経費を 1,000 円圧縮し、チップ

一機の待機時間を半分に圧縮できれば、A 施工区で 1,164 円/t、B 施工区で 1,440 円/t の費用削減が可能であるため、チップの買取単価が 12,000～13,000 円/t であれば、利益を生み出すことができる。アカマツ枯損木の伐出は危険を伴うため、伐出費の大幅な圧縮はリスクを伴うことから、今後はチップパー機待機時間の縮減及びチップ買取単価の価格交渉が必要になる。特に買取単価については、水分率に応じた価格での取引を求めていく必要性を感じた。

冒頭で述べた通り、現在、松本広域森林組合管内では、松くい虫被害が拡大し、対策は急を要する。更なる被害拡大を食い止めるためには、薬剤散布等での防除による対策では限界があるのが実情である。地域の森林を保全し、豊かな環境を守っていくためには抵抗性家系アカマツや他樹種への転換が欠かせない。被害拡大の防止と資源持続的な利用を考える中では、早い段階での伐採と活用が重要である。

本事業では、被害林の資源量把握手法及び伐倒工程の分析、チップ化の有効性を検討した。本事業地での結果を踏まえ、チップ化の必要性や導入するチップパー機のサイズを現場に合わせて選択することが可能となった。

表-9 チップ化の経費

費用	A 施工区	B 施工区
生産単価(円/t)	2,029	2,478
運賃(円/t)	1,760	1,760
伐出経費(円/t)	8,671	8,647
合計	12,460	13,155

(3) 里山の再生

本事業においては、地域で深刻な状態となっている松くい虫被害による里山の荒廃に対して、広葉樹林への転換とアカマツの植栽という二通りのアプローチで森林の再生の可能性を探った。結果的には、どちらの方法においても費用に関しては大きな差はなく、



コスト縮減とチップ販売の収入増が見込めれば、今後も被害林の更新として事業を展開できると考える。また、地域の方々に対しても今回の事業地を見ていただくことで地域の里山には再生の可能性があるということを実感していただけて関心を持っていただいたところである。今後も、地域の方々の理解を得ながら森林の再生を進めていきたいと考える。

看板設置