

令和 2 年度

山地保全調査

(近年の豪雨災害を踏まえた治山計画策定方針検討調査)

委託事業

報告書（概要版）

令和 2 年 3 月

林 野 庁

目 次

1. 事業の概要.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 事業内容.....	1
1.3 事業実施期間.....	1
2. 近年の豪雨災害を踏まえた治山計画策定方針の検討.....	2
2.1 検討の背景・目的及び検討方法.....	2
2.1.1 背景・目的.....	2
2.1.2 検討方法.....	2
2.2 委員会の開催状況.....	2
2.2.1 第1回委員会.....	2
2.2.2 第2回委員会.....	3
2.2.3 第3回委員会（持ち回り開催）.....	5
2.3 豪雨に関する今後の治山対策の在り方検討会　とりまとめ概要.....	5
2.3.1 森林が発揮している土砂流出防止機能・洪水緩和機能等の現状評価.....	5
2.3.2 近年の豪雨災害を踏まえた治山対策の取組状況に関する評価と課題.....	5
2.3.3 今後の気候変動を見据えた森林の土砂流出防止機能・洪水緩和機能の維持・向上のための治山対策について.....	5
3. 航空レーザ測量のさらなる活用方法の検討.....	7
3.1 航空レーザ測量の概要.....	7
3.1.1 航空レーザ測量の概要.....	7
3.1.2 航空レーザ測量データの特徴.....	7
3.1.3 空レーザ測量に使用するプラットフォーム.....	7
3.1.4 航空レーザ測量の標高精度.....	7
3.1.5 森林・林業分野におけるレーザ測量の計測密度.....	7
3.1.6 航空レーザ測量で得られる成果.....	7
3.1.7 航空レーザ測量データを活用した解析.....	8
3.1.8 既存航空レーザ測量成果の活用.....	8
3.2 航空レーザ測量活用実態調査.....	8
3.3 航空レーザ測量等を用いた事例の収集.....	9
3.4 航空レーザ測量等を用いた予防的な治山計画策定方法の検討.....	20
3.4.1 山地災害発生危険箇所の予測.....	20
3.4.2 治山施設の配置計画.....	20
3.4.3 森林の状態の把握.....	21
3.4.4 流木対策.....	21
3.4.5 リモートセンシング技術の適用範囲.....	21
3.5 既存航空レーザ計測測量データのさらなる活用方法の検討.....	21

3.5.1 計画策定段階.....	21
3.5.2 事業実施段階.....	22
4. UAV を用いたレーザ測量の活用方法の検討.....	23
4.1 UAV を用いたレーザ測量の活用事例	23
4.1.1 UAV レーザ測量の概要.....	23
4.1.2 UAV レーザ測量の活用事例	23
4.2 UAV レーザ測量を治山行政で活用する場合のメリット・デメリット	24
4.2.1 UAV レーザ測量と航空レーザ測量との比較.....	24
4.2.2 UAV レーザ測量のメリット、デメリット	25
4.3 UAV を用いたレーザ測量の活用方法	25
4.3.1 UAV レーザ測量の活用方法（案）	25
4.3.2 UAV レーザ測量を活用する上での留意事項、課題.....	27

1.事業の概要

1.1 目的

本業務では、近年頻発している異常な豪雨に対応した治山計画を策定するにあたっての方針を検討し、取りまとめる。また、航空機によるレーザ測量を活用した治山事業の復旧計画の策定状況及び実行状況について整理するとともに、事前防災のための治山計画の策定に際して航空機によるレーザ測量等の技術を活用する方法について検討し、さらに既存の航空レーザ測量データを治山行政においてさらに活用する方法を検討する。また、小型無人機（UAV）によるレーザ測量を治山行政において活用する方法についてもあわせて検討することを目的とする。

1.2 事業内容

本業務は、豪雨に伴い発生する山地災害を対象として、近年の豪雨災害を踏まえた治山計画策定方針の検討、航空レーザ測量の更なる利活用方法の検討、UAV を用いたレーザ測量の活用方法の検討を実施するものである。

1.3 事業実施期間

令和2年8月26日から令和3年3月12日

2.近年の豪雨災害を踏まえた治山計画策定方針の検討

2.1 検討の背景・目的及び検討方法

2.1.1 背景・目的

森林は、適切な整備・保全を通じて、土砂流出防止機能、洪水緩和機能等の維持・増進が図られ、豪雨災害の防止・軽減に寄与している。

一方、令和元年東日本台風、令和2年7月豪雨では、広い範囲にわたって河川の氾濫が発生し、甚大な洪水被害をもたらしたところである。

今後、地球温暖化の影響に伴い、気候変動がより一層激化することが見込まれている中、森林の有する土砂流出防止や洪水緩和等の機能の維持・増進により、豪雨災害から国民の生命・財産を守るため、気候変動に対応した治山対策の在り方について、既存のとりまとめに加え、更なる検討を行い、今後の治山対策の方向を示すことを目的とする。

2.1.2 検討方法

本事業の遂行に当っては、幅広い検討を行うため、有識者4名で構成する検討委員会を設置し、委員の指導、助言のもとで検討を進めた。委員の構成は、山地災害対策や森林の有する土砂流出防止機能、洪水緩和機能等についての調査・研究成果が豊富な、表 2-1 に示す有識者とし、計3回の検討委員会（うち1回は持ち回り）を開催した。

表 2-1 「豪雨災害に関する今後の治山対策のあり方検討会」に関する検討委員会委員名簿

氏 名	所 属
阿部和時	日本大学 生物資源科学部 森林資源科学科 特任教授
◎石川芳治	東京農工大学 名誉教授
五味高志	東京農工大学 農学研究院 国際環境農学部 教授
玉井幸治	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林研究部門 森林防災研究領域 領域長
◎委員長	

2.2 委員会の開催状況

2.2.1 第1回委員会

○開催日時 令和2年9月25日

○検討事項

- 1 山地災害・洪水被害の発生と治山対策の取り組み状況
 - 2 森林の有する土砂流出防止・洪水緩和機能等に関する最新の知見<各委員からの話題提供>
- 各委員からの主な意見

- 洪水緩和機能は、齢級構成をみると未だかつてない高い効果を発揮している状況ではないか
- マクロに見た場合に、土壌の保持、林床の被覆が重要。現行施策を継続していけば機能が低減することはないと思料。
- ミクロで見た場合には、手遅れ森林や病虫害被害を受けた森林で土壌侵食が発生しており洪水緩和機能の低減が懸念。
- 健全に管理された森林と、機能が低下した森林とを区分して対策を講じるべきではないか。具体的な対策としては、斜面に筋工、柵工を設置し土壌の保持を図っていくことは有効ではないか。
- 洪水緩和機能の発揮状況について、大流域での検証は大変であるため、小流域、個々の事例を対象として中期的な検証を行っていくことも大事ではないか。
- 歴史的な森林造成の成果により表層崩壊が減ってきている一方、やや深い層からの崩壊が増加しているので、森林の根系機能とそれを補完する治山的手法を組み合わせる森林の土砂災害防止機能を発揮させていくことも大事ではないか（土壌の保持による洪水緩和機能の維持にも関連）
- 豪雨形態の変化で溪流の縦侵食が顕著となることが想定、治山施設の密な配置で対処していくべきではないか。
- 山地災害は 1 度の豪雨で発生するものばかりではないので、豪雨・地震後に山地の変状を調査し、危険個所を特定する技術導入も有効ではないか。
- 流木災害はどの流域でも一様に発生しているわけではないので、災害履歴を踏まえ流域特性に応じた対策を講じるのも有効ではないか。
- 溪流沿いの樹木の伐採については、森林が災害の緩衝機能を発揮する面も踏まえつつ、中流域等ターゲットを絞って行うべきではないか。

2.2.2 第 2 回委員会

○ 開催日時 令和 2 年 12 月 22 日

○ 検討事項

- 1 森林の洪水緩和機能に関する現状評価と今後の施策の方向性について
- 2 豪雨形態を踏まえた山地災害の強化について
- 3 1、2 の検討に資する航空レーザの有効活用について

○ 委員からの提供資料

○ 各委員からの主な意見

① 洪水緩和機能に関すること

- 流域視点で見れば、機能低下森林をゾーニング（マップ化）してターゲットにしていくことで保水機能の向上を目指すべき。
流域治水との連携で、「多重防御施策」に位置づけていくべき。
- 機能低下の度合いをチェックする指標としては、収量比数や相対照度を見ていくことが馴染むのではないか。
- 対策の内容は、土壌を保持することに尽きる。森林整備に加え、筋工等を実施し浸透を促して

いくことが必要。

- 対策の優先順位としては、地下水位が相対として高く地表流化しやすい「溪流近くの斜面」を優先すべき。
- 他方で、令和元年東日本台風では、森林斜面で地表流が多々発生。筋工等の設置により地表流の流速を低減することも重要

今後の気候変動を見据えて、地表流対策も意識する必要。

- 間伐対象森林が減少し、皆伐等若返りが増えていくことについては、土壌を保持するように伐採時に留意し、しっかり造林すれば、流出量がさほど増えないという検証結果もあるので、伐採そのものを過度に気にする必要はない。

他方、再造林しない場合は流出量が増加している検証結果があるので、速やかな再造林を徹底する必要

- 伐区について既存制度に従って行えば気にする必要はないが、地形・地質上伐るべきでない脆弱な箇所は避けるように、エリア選定に際して、レーザ等による微地形判読を併用してはどうか。
- 今後、経験したことがない気候変動を迎えるので、関係機関が連携して有効なデータ蓄積をしていくべき。

小流域に加え、面的なデータや筋工の設置等施工による効果のデータ蓄積も進めるべき。

② 山地災害に関すること

- 山地尾根部対策については、どこで実施するかの特的手法を磨いていくことに尽きる。
レーザ測量データの活用を高度化していくことが必要。
- 上流域は、到達困難で手厚い施工は負荷が大きい対策は重要であることから、森林の機能をもう少し活かして、施設配置のスペックを下げるとか、省力化するとか、技術的な基準もメリハリをつけることで負荷を小さく、対策を容易にする工夫をしてはどうか。
- 斜面の侵食量が激化することへの対策は重要。治山ダムの高密配置は理に適っているが、1 溪流に投資しすぎると地域全体の投資レベルが落ちてしまう等の問題も発生することが懸念され、バランス感が必要。

このため、地域住民の参画を得た上で、治山計画を策定していく取組は重要になる。

- 山地災害危険地区情報は、重要な基礎データであるが、表層崩壊が多い時期に創設された考え方である。今、やや深い層からの崩壊が相対として増えてきているので、現状の崩壊形態に合った運用も進めるべき。
- 近年災害が相次いでおり、都度現地調査が進められているが、森林の防災力を生かした施策の展開につながるようなデータ取得・蓄積が進むような、災害調査の仕組みも進めて欲しい。
- 災害の同時多発化への対応として、空中情報を有効利用する技術を浸透させることと、1 施工地当たりの省力化を図っていくことは極めて大事
- 流域治水等の考え方が出てくる中、森林エリアについては、「防災意識」+「森林管理」というセットで、地域関係者との関りを深めていくことが重要。

2.2.3 第3回委員会（持ち回り開催）

○開催日時及び会場

- 3月8日 玉井委員 森林総合研究所
- 3月9日 阿部委員 日本大学
五味委員 東京農工大学
- 3月11日 石川委員 アジア航測株式会社

○検討事項

- 1 豪雨に関する今後の治山対策の在り方検討会 とりまとめ（案）

2.3 豪雨に関する今後の治山対策の在り方検討会 とりまとめ概要

2.3.1 森林が発揮している土砂流出防止機能・洪水緩和機能等の現状評価

- ・ 森林が有する土砂流出防止機能・洪水緩和機能は、治山対策・森林整備の進展に伴う樹木の根系の発達や森林土壌の形成・保持等により歴史的・全国的にみれば過去と比較して良好な状態
- ・ 1950年代始めには全国で毎年1万ヘクタール程度発生していた山地崩壊は、近年では数百ヘクタール台に大幅に減少
- ・ 他方で、地域ごとにみれば、手入れ不足の森林、病虫獣害被害や台風による風倒被害を受けた森林の機能低下が懸念。加えて、立木の大径化に伴う流木災害の激甚化も懸念。
- ・ 気候変動により降雨形態が激化する中、流域レベルでの機能向上を図るためには、こうした機能低下森林をターゲットにして事業を面的に実施することが重要

2.3.2 近年の豪雨災害を踏まえた治山対策の取組状況に関する評価と課題

- ・ 平成29年九州北部豪雨の流木災害、平成30年7月豪雨による土石流災害を受けて、国土強靱化3か年対策で全国約1,300箇所の危険箇所に対策を実施。特に流木捕捉式治山ダムは全国で約100基を新設。既存施設の活用や施設の流木捕捉率を高める技術開発も進展
- ・ 他方、令和2年7月豪雨では一連の豪雨により過去10年で最多の35都道府県で山地災害が発生。気候変動に伴い激甚化・同時多発化傾向。被災地の復旧と併せ予防対策の推進が課題

2.3.3 今後の気候変動を見据えた森林の土砂流出防止機能・洪水緩和機能の維持・向上のための治山対策について

○ 森林の土砂流出防止機能を維持・向上させるための対策について

ア) 表層よりもやや深い層からの崩壊発生が増加していることへの対応

- ・ 災害履歴がある箇所等を対象にリモートセンシング技術を活用した微地形情報の把握とともに、尾根部付近を対象に雨水を分散させる対策や災害の予兆把握の新たな技術の導入

イ) 流量増による溪流の縦横侵食が激化していることへの対応

- 集落等の近接地では土石流の衝撃にも耐えうる治山ダム、流下区域では小規模治山ダムを階段状に配置するなどタイプの異なる治山ダムを効果的に組み合わせ、溪流全体の土砂流出を抑制。特に、近年荒廃が著しい地域においては治山ダムの高密配置を検討
- 施設による流木の捕捉対策に加え、溪流沿いの危険木の事前伐採や将来の危険度を低減させる林相転換の推進による流木の総量抑制対策の推進

ウ) 線状降水帯の形成等により山地災害が同時多発化していることへの対応

- 土石流の発生の危険度が特に高い地区のうち施設が未整備の約1.3万地区を対象に、国土強靱化5か年対策として着手率向上を推進。併せて、嵩上げ・増厚等の既存ストックを有効活用し地域全体の安全性を向上。事業量増を見据えた効率的な施工や早期発注を推進

○ 森林の洪水緩和機能等を維持・向上させるための対策等について

- 機能低下森林のマップ化等による対策対象の明確化。保水力向上のため「森林整備と簡易な土木的工法（斜面の等高線状に伐採木を並べ置く筋工等）の組み合わせ」対策を、溪流沿いの斜面を優先しつつ面的に推進。雨水が地表流化した場合の流速低減にも寄与
- 河川の流路断面を閉塞させないよう流木・土砂流出抑制対策の推進（上記3（1）②関連施策）

3.航空レーザ測量のさらなる活用方法の検討

航空レーザ測量のさらなる活用方法を検討するため、レーザ測量の概要と航空レーザ測量のこれまでの復旧計画策定時における活用状況を整理し、復旧計画策定時に航空レーザ測量を用いる場合における留意点及び更なる利活用について取りまとめた。

3.1 航空レーザ測量の概要

3.1.1 航空レーザ測量の概要

- 航空レーザ測量とは、航空機から照射したレーザによる測距結果を統合して、地表面の形状を直接的に測定するものである。

3.1.2 航空レーザ測量データの特徴

- 航空レーザ計測では、1 点のレーザパルスの照射に対し 1 点もしくは複数の反射パルスデータが得られる。
- 最初の反射はファーストパルスデータ、最後の反射はラストパルスデータ、その他のデータは中間パルスデータと呼ばれる。

ファーストパルスデータ：樹冠表層データ（DCSM）の作成に用いる。

ラストパルスデータ：グラウンドデータの作成に用いられる。

中間パルスデータ：低木等の林内情報を含んでいる。

3.1.3 空レーザ測量に使用するプラットフォーム

- 航空レーザ測量に使用されている機体（プラットフォーム）は固定翼機（飛行機）と回転翼機（ヘリコプター）がある。近年では UAV を活用したレーザ計測測量も実施されている。

3.1.4 航空レーザ測量の標高精度

- 航空レーザ測量の標高精度は、遮蔽物のない平坦な箇所において、真値誤差標準偏差は 0.1m~0.15m 程度となる機材を使用することから、公共測量の運用に十分対応できる精度となる。
- 三次元計測データを作成する際は、調査用基準点における標高値とレーザ測量から得られる標高値の較差は、25cm 以内に収めるものと定められている。

3.1.5 森林・林業分野におけるレーザ測量の計測密度

- 計測密度と計測対象地の高低差によって、最適のコース数が決定する。計測点密度を増やすと得られる成果の精度が向上するが、計測単価が増加する。
- 現在、森林・林業分野における航空レーザ測量では 4 点/m² 以上の密度で計画されることが一般的になっているが、過去のレーザ測量データには、1 点/m² で計測されたデータも多くある。

3.1.6 航空レーザ測量で得られる成果

航空レーザ測量を実施することで様々なデータを取得できる。ここでは、主な成果と利活用場面にについて整理した。

表 3-1 航空レーザ測量で得られる主な成果

航空レーザ測量で得られる成果例	利活用場面
オルソ画像等	荒廃地の判読等
地盤高データ	地形解析及び森林資源解析の基礎データ
等高線	図面背景
微地形表現図	現地調査資料、荒廃地判読等
傾斜区分図	路網計画の策定等
森林資源情報	森林整備計画の策定等

3.1.7 航空レーザ測量データを活用した解析

- レーザ測量データを活用することで、地形解析と森林資源解析を実施することができる。
地形解析の例) 等高線、傾斜区分図、微地形表現図、荒廃地形分布図、崩壊のおそれのある地形の抽出、山腹崩壊危険度の評価、差分解析
森林資源解析の例) 林相判読、単木抽出解析、樹高、立木密度の算出、胸高直径、材積、森林の込み具合の指標（収量比数、相対幹距比）、下層植生の評価

3.1.8 既存航空レーザ測量成果の活用

- 日本測量調査技術協会では、航空レーザ器材を所有する民間会社の過去の受注業務や自社計測の航空レーザ測量範囲を集約し、インターネット上で公開している。
- 公開されているのは計測範囲と計測の諸元に関する情報のみである点に留意すること。

3.2 航空レーザ測量活用実態調査

今後、航空レーザ測量の更なる活用を推進するため、都道府県での航空レーザ測量の活用に関して、活用実態、また活用していない場合の課題等を把握することを目的としたアンケート調査を実施した。

- (1) 調査対象：都道府県の治山業務担当者
- (2) 調査方法：メール
- (3) 回収状況：47/47（回収率、有効票ともに 100%）

○ 調査概要

- 航空レーザ測量を実施したことがあるとの回答は全体の 72%で、治山分野において航空レーザ測量の利活用が全国的に広がっていた。
- 航空レーザ測量を実施する際の課題として、1) 活用事例に関する課題、2) 業務委託に必要な情報に関する課題、3) 費用に関する課題が挙げられていた。1) については、航空レーザ測量等の実施状況の検証や各振興局担当者で構成するワーキンググループでの検討を踏まえた手引書を作成する、2) については受託者等から提供された情報から積算を行うなどの対応、3) については治山のみならず他分野でのデータの利活用を検討することなどが解決策として挙げられていた。
- 航空レーザ測量を活用したことがない地方自治体は、地元業者が対応できないといった理由が挙

げられていた。

航空レーザ測量データ活用のデメリットとして挙げられていた計測費用が高額であることが、航空レーザ計測を活用しなかった大きな理由の一つとなっていた。

3.3 航空レーザ測量等を用いた事例の収集

近年、災害発生直後の状況把握以外にも、全体計画策定時の基礎資料として航空レーザ測量データが活用される場面が多くなっている。今後、より幅広く航空レーザ測量データ活用に資するため、近年実施された航空レーザ測量データを活用した事例を整理した。収集した事例を表 3-2 に示す。

表 3-2 収集事例一覧

事例番号	航空レーザ測量データの活用方法	事業実施時期	事業実施主体
事例 1	山地災害発生危険個所の把握	平成28年9月	林野庁
事例2	山地災害発生危険個所の把握	平成30年3月	林野庁
事例3	山地災害の危険度情報の整備	平成29年3月	都道府県
事例4	流木発生箇所の抽出	令和2年3月	都道府県
事例5	森林の健全度	平成31年3月	都道府県
事例6	治山計画対象地の選定	令和元年12月	都道府県
事例7	治山施設位置図作成	令和元年3月	関東森林管理局
事例8	施設点検、森林整備計画への活用	平成30年3月	都道府県
事例9	荒廃地の復旧整備	平成25年10月	関東森林管理局
事例10	土石流・流木対策	平成30年12月	関東森林管理局
事例11	流木対策	平成28年3月	都道府県
事例12	山地災害危険度情報整備	平成31年3月	都道府県
事例13	路網線形の設計	令和2年3月	都道府県
事例14	森林整備計画に資する資料作成	平成31年2月	都道府県
事例15	治山施設設計への活用	令和2年11月	都道府県

以下に収集した事例及び航空レーザ測量データの概要を示す。

事例1 山地災害発生危険箇所の把握

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
災害発生時		二次災害発生危険度把握	都道府県
事業目的	地震後の山地斜面における崩壊発生や亀裂の発生状況を把握する目的で高密度な航空レーザ計測を実施し、その結果を判読・分析することにより、今後の降雨等による山地災害の発生危険箇所を把握することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	林野庁が航空レーザ測量を実施		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業作業手法	(1) 航空レーザ測量データより、微地形表現図を作成 (2) 微地形表現図より、崩壊地、亀裂等を判読し、崩壊地箇所等位置図を作成 (3) 既存のレーザ計測データ（地震前のデータ）と本業務で取得した計測データ（地震後のデータ）を用いた差分解析を実施し、地形変化量図を作成		

事例2 山地災害発生危険箇所の把握

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
災害発生時		二次災害発生危険度把握	林野庁
事業目的	広範囲で豪雨による山地災害が発生し、多くの人命・財産が失われるなど被害が生じた地域において、山地斜面等に多くの小崩壊等が発生するなど、地盤が脆弱になっている恐れのある箇所の実態を、航空レーザ計測により把握・分析し、今後の効果的な治山対策に反映することを目的とした。		
航空レーザ測量データの取得方法	林野庁が航空レーザ測量を実施		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業作業手法	(1) 航空レーザ測量データより、微地形表現図を作成 (2) 微地形表現図より、崩壊地、亀裂、巨石を判読し、 ① 崩壊地については、崩壊主部をポリゴン、流下侵食域はライン ② 亀裂については、ライン ③ 巨石については、ポイント で表示した崩壊地箇所等位置図を作成		

事例3 山地災害の危険度情報の整備

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		危険度把握	都道府県
事業目的	不健全な森林あるいは山地災害の発生危険箇所を抽出し、今後の山地災害に対する事前防災に役立てることを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	農山漁村地域整備交付金の予防治山事業により、県が複数年度で計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	山腹崩壊危険度判定 (1) 地質図を分類し、地質分類図を作成。 (2) 地盤データより、傾斜度、縦断曲率、横断曲率を算出。 (3) 地質分類図と傾斜度から土層深を算出。 (4) レーザ測量成果を活用した林相判読結果より樹種を、森林簿より年齢級を整理。 (5) (1)～(4)を組合せ、山腹崩壊危険度を算出。山腹崩壊危険度の判定は、山地災害危険地区調査要領を参考に実施。 森林の管理状態の評価 (1) 航空レーザ測量成果を活用し、林相区分図を作成。 (2) 航空レーザ測量成果を活用し、収量比数を算出。 (3) (1)、(2)から森林の管理状態を評価。 総合評価 (1) 山腹崩壊危険度の評価と森林の管理状態の評価を組合せ、山地災害危険箇所を抽出		

事例4 流木発生箇所の抽出

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		全体計画作成	都道府県
事業目的	林地の崩壊や土砂の流出、流木災害発生防止を図るために航空レーザ計測を実施し、詳細な地形データ、森林情報を取得し、それを解析することで、優先度付け・重点化による効率的・効果的な山地災害重点地域全体計画を策定することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	山地災害重点地域総合対策事業により、県が計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	流木発生危険箇所の抽出 流木発生危険箇所は、山腹の流木発生危険箇所と溪流の流木発生危険箇所を組み合わせることで、抽出した。 - 山腹の流木発生危険箇所の抽出 (1) 航空レーザ測量で得られた地盤高データや地質データを活用するとともに、森林簿の齢級を用いて、山腹崩壊危険箇所の評価を実施。 (2) 森林情報解析を活用し、森林の土砂崩壊防止機能を評価。 (3) (1) と (2) を組み合わせ、山腹の流木発生危険箇所を抽出。 ※山腹崩壊危険地区の評価は10m×10mメッシュ、森林の土砂崩壊防止機能の評価は20m×20mメッシュ、山腹の流木発生危険箇所は20m×20mメッシュで解析している。 - 溪流の流木発生危険箇所の抽出 (4) 微地形データ等を活用し、谷次数区分図を作成。 (5) 谷次数ごとに土石流の流下幅の概略を推定。 (6) (4)、(5) から溪流の流木発生危険箇所を抽出。 (7) 山腹と溪流の流木発生危険箇所を合わせ、流木発生危険箇所を抽出。 ※流木発生危険箇所の抽出方法については、「災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）（平成28年林野庁）」を参照。		

事例5 森林の健全度

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		全体計画作成	都道府県
事業目的	航空レーザ測量成果を解析することで、山腹・溪流の荒廃地、荒廃森林など山地災害のおそれのある箇所を詳細に把握・分析し、優先度付け・重点化による効率的・効果的な山地災害重点地域全体計画を策定することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	山地災害重点地域総合対策事業により、県が計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	森林の健全度評価 (1) 航空レーザ測量データより、林相図を作成 スギ、ヒノキ人工林、竹林を抽出 (2) スギ、ヒノキ人工林について、小班単位で平均樹高、ha当たり本数を算出 ○ 過密傾向にある針葉樹人工林の分布図作成 平均樹高、ha当たり本数からスギ・ヒノキ人工林における収量比数を算出 Ry0.7以上の過密な小班の分布図を作成 ○ 竹が侵入・拡大した針葉樹人工林等の森林 林相区分図をメッシュで区分し、各メッシュの竹林占有率（ha当たりの占有率）を算出。林相区分図と重ね、スギ・ヒノキ林等で、1ha当たりの竹林の占有率が50～90%の森林は、竹の侵入・拡大を早急に防止すべき荒廃森林として評価。 ○ 雪害を受けた針葉樹人工林（推定） 単木の樹高情報から、周辺の樹高と比べ樹高が低い林内ギャップの存在する区域を抽出し、この区域を雪害被害林と推定した。		

事例6 治山計画対象地の選定

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		全体計画作成	都道府県
事業目的	既存の航空レーザ計測データを利用し、航空レーザ計測データ解析処理及び荒廃地調査（詳細地形図作成、傾斜区分図・崩壊地分布図等の作成等）を実施し、山地災害対策を効果的に実施するための治山全体計画を作成するものである。		
航空レーザ測量データの取得方法	西日本豪雨災害に関連して林野庁が取得したデータを活用		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業手法	(1) 微地形判読図から、荒廃地形を判読し、荒廃地等判読図を作成 (2) レーザ計測データである標高データ（DEM）を用いて傾斜度、縦断曲率、横断曲率の3つの地形量を算出し、崩壊が起きやすい地形分布図を作成 (3) 荒廃地等判読図、崩壊が起きやすい地形分布図、山地災害危険地区分布図を重ね合わせて要整備地区分布図を作成		

事例7 治山施設位置図作成

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		治山施設点検	関東森林管理局
事業目的	治山施設（溪間工、山腹工）の健全度を評価し、補修・機能強化の対策計画を作成する		
航空レーザ測量データの取得方法	砂防部署より借用		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	（１）航空レーザ測量成果より微地形表現図を作成。 （２）微地形表現図を用いて既存治山施設を判読し、治山施設点検位置図を作成。		

事例8 施設点検、森林整備計画への活用

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		治山施設点検、森林整備計画	都道府県
事業目的	資料調査及び現地調査により、既存治山施設の老朽化状況の把握と整備計画等の策定を実施し、今後、事前防災の取り組みとして計画的に維持管理・更新を進めていくにあたっての基礎情報を得ること。また、既存の森林情報解析データと現地調査により、流域における森林の状況（樹種、立木密度等）を把握し森林整備計画を策定することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	農山漁村地域整備交付金の予防治山事業により、県が複数年度で計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	施設点検 （１）あらかじめ微地形表現図を用いて治山施設を抽出した成果と、保安林や崩壊土砂流出危険地区、土砂災害警戒区域等のデータを重ね合わせ、点検対象となる施設を絞り込み、施設点検を実施。 森林整備計画 （１）航空レーザ測量成果を活用し作成した林相区分図や収量比数算出結果を用いて整備対象区域を抽出し、森林整備計画を策定。		

事例9 荒廃地の復旧整備

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		作業道検討	関東森林管理局
事業目的	荒廃地を復旧整備するための治山全体計画の作成及び治山ダム2基の実施設計。		
航空レーザ測量データの取得方法	東大日本大震災に関連して林野庁が取得したデータを活用		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) 航空レーザ測量成果より微地形表現図を作成。 (2) 微地形表現図を用いて荒廃地、既存施設を判読。 (3) 地盤データから、傾斜区分図、縦断図、横断図を作成、土工量を算出し最適な作業道ルート検討		

事例10 土石流・流木対策

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		施設配置計画	森林管理局
事業目的	土石流・流木対策を主たる目的とした治山全体計画の作成及び治山ダム3基の実施設計		
航空レーザ測量データの取得方法	砂防部署より借用		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) 航空レーザ測量成果より微地形表現図を作成。 (2) 微地形表現図を用いて荒廃地、既存施設を判読。 (3) 災害前後のレーザデータから差分図を作成。 (4) 地盤データを活用した崩壊危険斜面の抽出と森林簿情報から、流木発生危険箇所を抽出。		

事例11 流木対策

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		全体計画作成	都道府県
事業目的	森林の過密化や溪流の荒廃等により、今後の豪雨時には流木を伴った土砂が流出し、下流集落や農業用水施設等に被害を及ぼすおそれがある。林地の崩壊や土砂流出、流木化を未然に防止するためには、発生源となる危険性の高い森林を精度高く把握する必要がある。このことから、流木災害の発生を未然に防止するために航空レーザ測量を実施し、詳細な地形データと森林情報を取得し、それを解析することで、効率的・効果的な流木防止総合対策計画を策定することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	奥地保安林保全緊急対策事業により、県が計測を実施		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	流木発生危険箇所の抽出 流木発生危険箇所は、山腹の流木発生危険箇所と溪流の流木発生危険箇所を組合わせて抽出した。 - 山腹の流木発生危険箇所の抽出 (1) 航空レーザ測量で得られた地盤高データや地質データ、森林簿データ（林齢）を活用し、山腹崩壊危険箇所の評価を実施。 (2) 航空測量データを活用した森林解析結果（樹種、胸高直径、立木密度）から森林の土砂崩壊防止機能を評価。 (3) (1) と (2) を組合わせ、山腹の流木発生危険箇所を抽出。 ※山腹崩壊危険地区の評価は100m×100mメッシュ、森林の土砂崩壊防止機能の評価は20m×20mメッシュ、山腹の流木発生危険箇所は20m×20mメッシュで解析している。 - 溪流の流木発生危険箇所の抽出 (4) 微地形データ等を活用し、谷次数区分図を作成。 (5) 谷次数ごとに土石流の流下幅の概略を推定。 (6) (4)、(5) から溪流の流木発生危険箇所を抽出。 (7) 山腹と溪流の流木発生危険箇所を組合せ、流木発生危険箇所を抽出。 ※流木発生危険箇所の抽出方法については、「災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）（平成28年 林野庁）」を参照。		

事例12 山地災害危険度情報整備

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		危険度把握	都道府県
事業目的	林地の崩壊や土砂の流出、流木災害発生防止、災害に強い森林づくりの推進、路網整備の効率化及び需要に応じて森林資源を計画的・安定的に供給する体制を構築するための基礎データの整備を図るため、航空レーザ計測を実施し、詳細な地形情報、森林資源情報を解析することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	山地災害重点地域総合対策事業により、県が計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) 荒廃地形危険度ランクの評価 ① 航空レーザ測量データより、作成した微地形表現図により、荒廃地を判読し分布図を作成。 ② ①と保全対象の範囲を重ねて、重なる場合を保全対象として抽出し荒廃地形・保全対象位置図を作成。 ③ 荒廃地と保全対象の距離、保全対象の種類により、荒廃地形危険度ランクの評価を行い、荒廃地形ランク図を作成。 (2) 要整備森林の抽出 ① 航空レーザ測量データを活用し、林相区分図を作成。 ② スギ、ヒノキ等人工林について、航空レーザ測量データを活用し、平均樹高、ha当たり本数を把握し、収量比数、相対幹距比を算出。収量比数と相対幹距比を組み合わせ、間伐緊急度が高い要整備森林を抽出		

事例13 路網線形の設計

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		林道開設計画	都道府県
事業目的	航空レーザ測量を実施し、森林の状況や微地形を詳細に把握することにより、効率的な路網線形の設計に資するとともに、業務区域内の森林資源の有効利用のための資料を作成することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	林野庁の交付金の事業により、県が計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) 航空レーザデータを基に、林相図を作成し、スギ・ヒノキ人工林を対象として材積を算出とともに、地形データから傾斜区分図を作成。 (2) 傾斜区分図、材積のクロス評価から傾斜が緩く森林資源が豊富な区域を抽出。 (3) 林道等からの200m以遠の範囲を重ね合わせて、路網開設候補区域を選定。 (4) 選定した候補区域において、既存の公道を起点として、崩壊等の発生の恐れのある荒廃地形を避けて、縦断勾配18%以下の基幹的作業道相当の線形検討を行い、路線計画図を作成。		

事例14 森林整備計画に資する資料作成

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		事前防災	都道府県
事業目的	荒廃森林の情報収集による治山事業の計画策定や、森林の多面的機能を発揮する適切な森林整備・保全、山地荒廃による災害の未然防止に資することを目的とする。		
航空レーザ測量データの取得方法	農山漁村地域整備交付金の効果促進費により、県が複数年度で計測を実施。		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) 航空レーザ測量成果より傾斜区分図、微地形表現図を作成。 (2) 微地形表現図やオルソフォト画像等を用いて地形判読、既設治山施設や道路等を判読。 (3) 航空レーザ測量成果を活用し、森林資源情報を解析。 (4) 傾斜と収量比数から、森林整備優先度を評価。		

事例15 治山施設設計への活用

事業実施のタイミング		対策	事業実施主体
平常時		施設設計	都道府県
事業目的	治山林道分野の測量・設計業務において、航空レーザ測量やUAV 測量等を行うことで効果的な情報収集を積極的に図っていくほか、施工においてもICT（情報通信技術）を活用することが望まれている。 今回、航空レーザ測量を活用し、治山計画調査と施設設計を行ったのでその成果について報告する。		
航空レーザ測量データの取得方法	治山事業により、県が航空レーザ測量を実施		
航空レーザ測量データを活用した特徴的な作業	(1) レーザ照射点数 6 点/m²の高密度な航空レーザ測量を実施した。 (一般的には、林野庁関係の場合、一般的には 4 点/m²) (2) 微地形表現図により荒廃地を判読した。 (3) 航空レーザ測量により得た荒廃地、溪床堆積勾配等から治山ダムの配置と、治山事業の優先順位を決定した。 (4) 航空レーザ測量データから、平面図、縦断図、横断図を作成し、治山施設の詳細設計図を作成した。 (5) 設計情報を三次元データ化し、航空レーザ測量データから得た点群データに追加し、堤体と掘削ラインの三次元表現図を作成した。		

3.4 航空レーザ測量等を用いた予防的な治山計画策定方法の検討

「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会のとりまとめ」において、今後の治山対策検討にあたって航空レーザ測量を活用することが記述されている。この内容に基づき、3.1.7 で紹介した航空レーザ測量データの活用した解析をあらためて整理する。

3.4.1 山地災害発生危険箇所の予測

- ・ 微地形の判読
- ・ 0 次谷の把握
- ・ 山地災害危険地区の把握

3.4.2 治山施設の配置計画

- ・ 既存治山施設の位置、状況の把握
- ・ 計画勾配の決定
- ・ 現地アクセスの確認

3.4.3 森林の状態の把握

- 機能の低下した森林（保安林）の分布状況の把握
- シカ食害等による下層植生減少状況の把握

下層植生の反射パルス特性を解析することにより、林内下層植生等の繁茂状況が面的に把握できる。

3.4.4 流木対策

- 流木発生危険斜面の抽出
- 溪流沿いの流木発生危険区域の把握
- 流木対策施設の規模決定

3.4.5 リモートセンシング技術の適用範囲

リモートセンシング技術を活用したデータとしては、空中写真、衛星画像、航空レーザ、UAV レーザが挙げられるが、これらデータの情報内容、コスト等について表 3-3 にまとめた。

表 3-3 リモートセンシング技術の概要

評価項目		現地調査	光学衛星画像	空中写真		航空レーザ		UAV写真	UAVレーザ	地上レーザ
				空中写真 オルソ画像	立体視					
適用 面積	～1ha プロットレベル	○			○			○	○	○
	1ha～10ha 小班単位	○			○			○	○	○
	10ha～100ha 小班単位				○			○	○	
	2,000ha～ 市町村・都道府県単位		○	○		○				
	100,000ha～ 都道府県単位		○	○		○				
データ諸元			地上解像度 0.41m～10m	地上解像度 0.1～0.3m	地上解像度 ～0.5m	計測密度 1点/㎡	計測密度 4点/㎡以上	地上解像度 1cm～10cm (センサのサイズ、 対地高度により変動)	計測密度 20点/㎡～100点/㎡ (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザ機器設置間隔 10～20m
活用方法			林相判読	林相判読	林相判読	林相判読 地形判読	林相判読 地形判読	林相判読	林相判読 地形判読 境界杭の計測	林相判読 地形判読 境界杭の計測
森林 調査	樹種		○	○	○	○	○	○	○	
	樹高				○	○	○	○	○	○
地形 情報	等高線図					○	○	○	○	○
	概略地形情報		○	○	○	○	○	○	○	○
	微地形表現図					○	○		○	○
境界杭の調査		○							○	○
導入 コスト	計測機器		-	-	-	-	-	15万円～200万円	3,000万円	200万円～1,000万円
	解析ソフト		-	-	10万円/年	-	-	100万円		～400万円
	コスト ※ヒアリング結果平均値 詳細は手引き72p以降を 参照		2～100円/ha	300円/ha	30,000円+1,000 ～1,800円/空中写真1枚 (搭載データ作成費用)	-	2,500円/ha (計測のみ) 6,300円/ha (解析+ソフト 導入費を含む)	-	247,000円/ha (計測+解析)	200,000円/ha (計測+解析)

3.5 既存航空レーザ計測測量データのさらなる活用方法の検討

事業実施の各段階、維持管理段階等における航空レーザ測量データのさらなる活用方法について検討した。

3.5.1 計画策定段階

- 災害発生前と発生後の地形データ等の比較による適切な施設配置計画
- 治山ダム配置計画支援ソフトの活用

3.5.2 事業実施段階

- 航空レーザ測量データを用いた設計による治山工事の発注

4.UAV を用いたレーザ測量の活用方法の検討

UAV を用いたレーザ測量の活用事例を収集・整理した上で、治山行政で活用する場合のメリット・デメリットを取りまとめた。また、それを踏まえ、今後治山行政において UAV を用いたレーザ測量を活用する方法について検討した。

4.1 UAV を用いたレーザ測量の活用事例

4.1.1 UAV レーザ測量の概要

- 近年、様々な分野で、小型無人機（Unmanned Aerial Vehicle, 以下「UAV」とよぶ）の活用が進んでおり、レーザ測距装置をセンサとして搭載したものは、上空から森林や地盤の三次元座標を直接計測することができる。
- 要求点密度や要求精度等について、参考として目安となる標準値が示されているが、航空レーザ測量のような基準はなく、計画機関が定める要求仕様にしたがって行うこととされている。
- UAV による飛行は、改正航空法（平成 27 年 12 月 10 日施行）により（1）許可が必要な空域、（2）承認が必要な空域で許可申請または承認申請が必要となる。

4.1.2 UAV レーザ測量の活用事例

- UAV 写真測量を用いた立木調査
 - 解析単位が単木ベースで面積が数百 ha 以下の場合は UAV レーザが有効である。
- 災害時の被災状況調査
 - 目視で把握することが難しい山地域の災害についても、UAV レーザ測量を行うことで、災害の範囲や規模を正確に把握することができる。さらに、災害前の地形データがあれば、差分により土砂量を算出することも可能である。
- 地形測量
 - レーザ点群データから平面図、断面図を作成するとともに、地形表現図（赤色立体地図）とあわせて、ビューワで三次元的に閲覧可能とした。
- 対策設計の基礎資料
 - 山地尾根部や急峻地では現地立ち入りが困難な場合も多い。
 - UAV レーザによる点群データおよび UAV 写真測量による三次元モデルから、落石源の位置と規模を三次元的に把握した。
 - 落石防護工の工種・規模や、落石予防工の必要性について検討し、落石対策工設計を実施した。設計結果は、UAV を用いて作成した平面図、断面図にとりまとめた。
- 対策工事の起工測量
 - およそ 20 分の飛行で 5～7ha の測量を完了させた。
 - 樹木伐採前の現場での測量であったが、UAV レーザを活用することで、植生下のデータ（地表データ）を取得できた。
 - ±10cm の高精度な地表データが得られ、砂防堰堤における工事の正確な施工管理に貢献するものとなった。

4.2 UAV レーザ測量を治山行政で活用する場合のメリット・デメリット

UAV レーザ測量を治山行政で活用する場合のメリット・デメリットを取りまとめた。その際、航空機によるレーザ測量との違いを比較し、それぞれの利点を把握したうえで行った。

4.2.1 UAV レーザ測量と航空レーザ測量との比較

UAV レーザ測量を含む各種測量手法の点密度と高度の比較イメージを図 4.1 に、平面的な適用範囲を図 4.2 に示す。

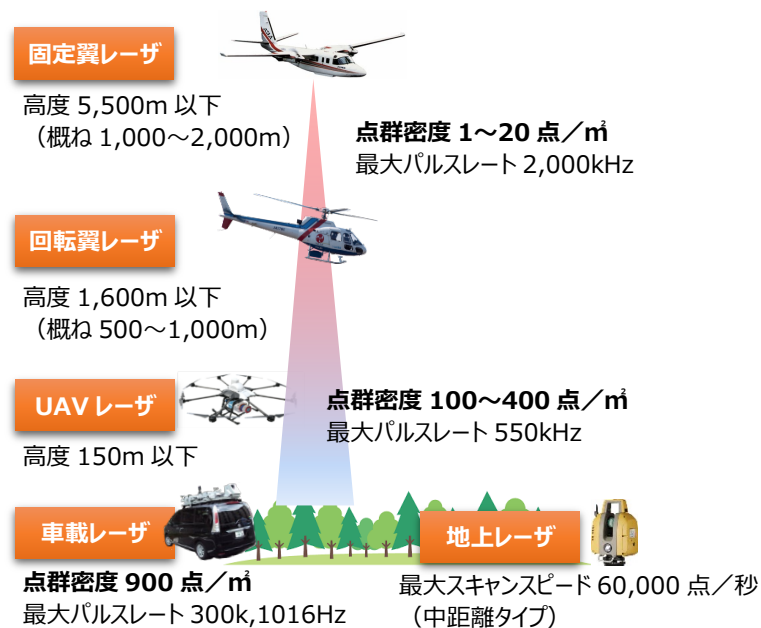


図 4.1 各種レーザ測量の点密度、高度等比較

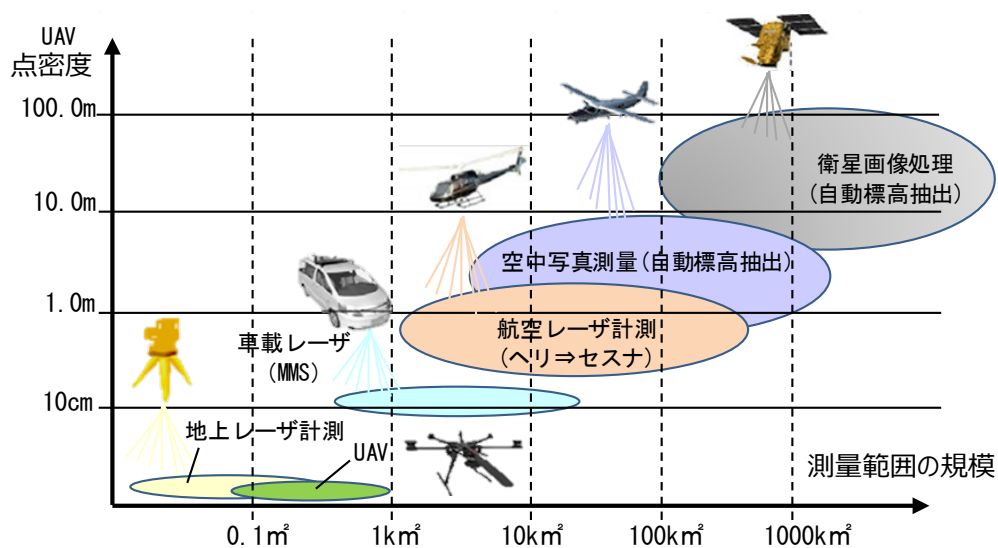


図 4.2 3次元の面的な計測手法の点密度と守備範囲

- 一般に、高度が高くなるほど計測範囲は広がるが、点密度は粗くなる。UAV は原則として、航空法に基づき高度 150m 以下での飛行が前提となる。
- UAV は、範囲は狭いが（最大で 1k m²以下程度）高密度の点群が必要とされるような用途に適し

ている。

4.2.2 UAV レーザ測量のメリット、デメリット

○ メリット

- 低空のため高密度計測が可能。斜めにレーザ光が入りやすいので、樹木下でも詳細な地形や樹木の形状等をとらえやすい。
- 小範囲（1k m²程度）では航空レーザより安価。
- 国内の保有機体数が多く、対応可能な事業者数が多い。

○ デメリット

- 航空レーザ測量よりも風や雨の影響を受けやすい。
- 計測コース上に支障物がなく、安全に飛行可能であること（目視内が基本）。
- 計測対象の近くに安全かつ車でアクセス可能な離発着地点が必要。

4.3 UAV を用いたレーザ測量の活用方法

4.3.1 UAV レーザ測量の活用方法（案）

治山行政の各段階（計画策定段階、事業実施段階から維持管理段階）において、UAV によるレーザ測量が優位と考えられる活用方法について表 4-1 整理した。

表 4-1 治山行政における UAV レーザ測量の活用場面（案） 1/2

段階、項目	調査内容、方法等
計画策定段階	
・ 地形調査 (小地形区分：尾根単位程度)	※大地形（山地単位）～中地形（構成物質・基盤地質により細分される地形区）区分については航空レーザ測量が有効
微地形区分	地形表現図の判読により微地形区分を行う
地形計測	グリッドデータを用いて、切峰面、切谷面、起伏量、傾斜等を計算可能
微地形判読	地形表現図を用いて崩壊地形、崖錐、堆積物、リニアメント等を判読する
・ 林況、植生調査	
林相調査	点群解析により樹種、樹高、樹冠粗密度、樹冠の高さを把握する
森林調査	点群解析により立木の大きさ、成立本数を把握する
・ 荒廃現況調査	
崩壊地調査	地形表現図より崩壊地の分布や規模を判読 ※動態、土砂量は現地確認の必要あり
倒木、流木の有無	地形表現図より判読可能（エラー！ 参照元が見つかりません。参照）
・ 荒廃危険地調査	
崩壊、土石流発生の推定	地形判読、地形計測結果より、崩壊や土石流の発生危険箇所を検討する

表 4-1 治山行政における UAV レーザ測量の活用場面（案） 2/2

段階、項目	調査内容、方法等
事業実施段階	
・ 測量（起工測量）	UAV レーザによる平面測量（通常 1:500～1/2,000）、縦断測量（平面測量と同じ）、横断測量（通常 1:100）
・ 設計	地形表現図等を現地踏査の基礎資料として活用
・ 施工	ICT 施工、出来形管理に活用
維持管理段階	
・ 予防保全型維持管理・更新等の必要性検討	森林現況（密度、樹種、樹高、胸高直径、下層植生等）
・ 治山施設点検	施設周辺地山の変状有無、溪間工の基礎洗堀、溪間工・山腹工・なだれ発生予防工等の背後土砂堆積 ※施設の健全度については現地確認が必要
・ 地すべりの変動モニタリング	複数時期の計測を実施し、差分解析を行う
・ ハザードマップへの活用	地形図や地形表現図をハザードマップの基図として用いる
・ 三次元モデルによる見える化	三次元表示することで説明資料としても有用
災害時	
・ 災害発生状況の把握	災害規模や位置の把握、二次災害の前兆となる亀裂等の判読

4.3.2 UAV レーザ測量を活用する上での留意事項、課題

- ・ 飛行可能な空域かを確認する必要がある。目視外飛行、DID 区間など申請を要するケースは、手続が必要。
- ・ 写真撮影用の機材より大型となり、離発着地点の近傍まで大型の乗用車がアクセスできる必要がある。
- ・ 調整用基準点を設置できない場合は精度が低下する。
- ・ コース間調整やフィルタリング処理の手法・手順が、航空レーザ測量ほど確立されておらず、慣れ

ていない作業者では精度が低下する場合がある。

- 精度の基準が明確にされておらず、目的に応じて計画機関が適切に定める必要がある