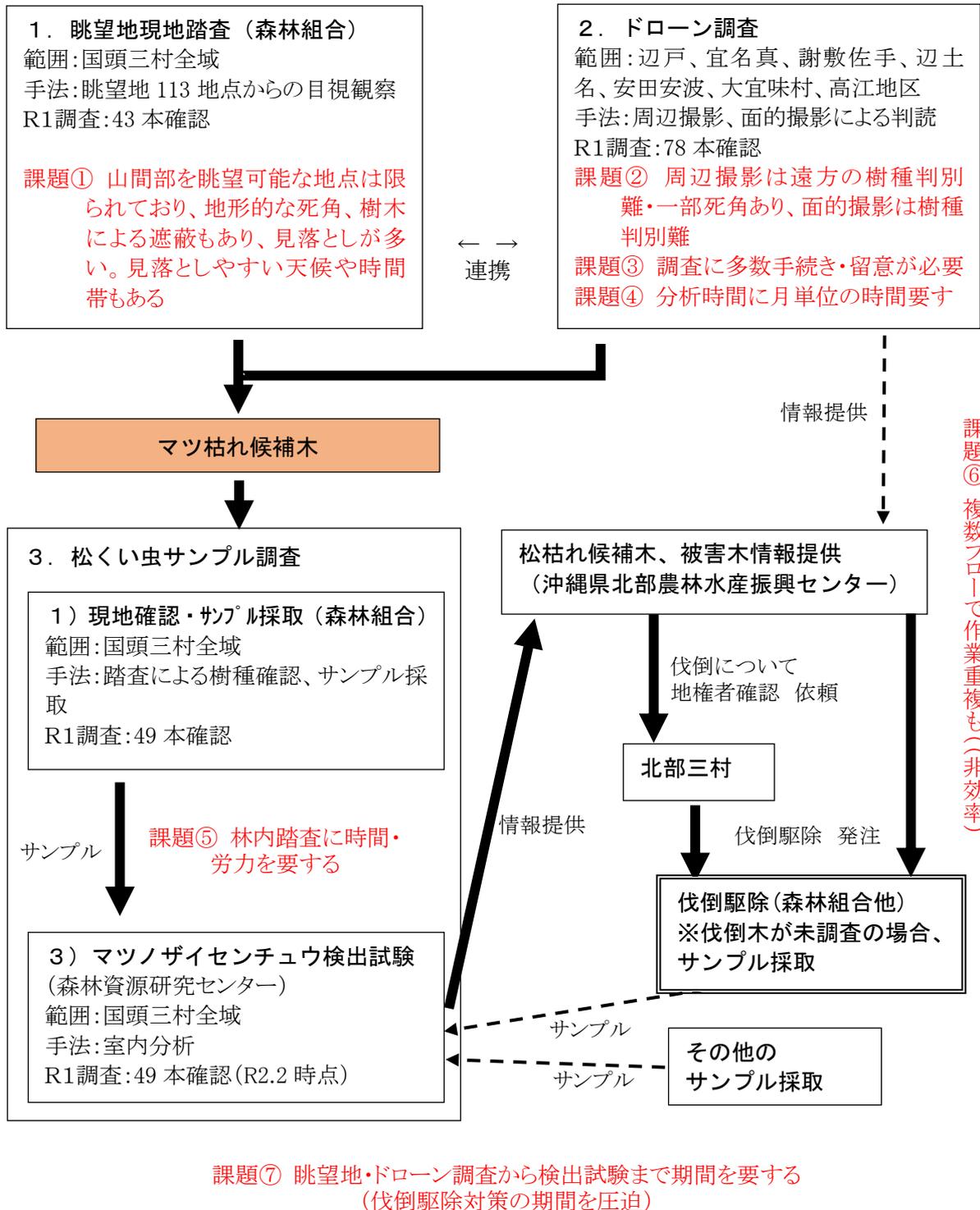


### 2.1.5 今後の課題

松くい虫被害北端ラインの調査のフローは、図Ⅱ.2.1-12のとおりを実施した。効率化等に関して課題が残されている。



図Ⅱ.2.1-12 松くい虫被害北端ラインの把握 調査フロー及び課題

## 課題①眺望地現地踏査の精度に関する課題

やんばるの広大な森林全域において、眺望観察で枯死木を探すことは、大変な労力と知見が必要になる。

そこで地域の森林分布や眺望地点や詳しい国頭村森林組合及び北部森林組合に調査を委託して、精度向上と効率化を図った。

しかし、眺望可能な地点は限られており、地形的な死角、樹木による遮蔽もあり、全ての枯死木を発見することは困難である。見落としやすい天候や時間帯（もや、逆光等）もある。

そのために一部の監視上重要な地域では、ドローン調査を併用し、見落としをなくす体制とした。

一方で、ドローン調査において樹種判別が困難であったマツ枯れ候補木について、眺望地踏査にて確認する作業を行った。

今後は、毎年進んでいくドローン調査の技術向上や飛行制限等の変化に対応しながら、眺望地現地踏査とドローン調査のより円滑な連携システムを構築していくことが今後の課題となる。

やんばる地域の眺望可能エリア、不可視エリアを整理して、眺望地現地踏査とドローン調査と役割分担を検討していくことも考えられる。

## 課題②ドローン調査の精度に関する課題

今年度までのドローン調査では、周辺撮影、面的撮影、近接撮影の3手法を用いた。各調査の特徴、メリット、デメリット等について概要を以下に示す。

徹底駆除を要する山間部エリアでは、見落としなく、高精度の位置情報を取得するために、B. 面的撮影を採用することが望ましい。ただし、A. 周辺撮影より樹種判別が難しい面がある。確実な樹種判別と位置確認のために、A. 周辺撮影とC. 近接撮影、B. 面的撮影とC. 近接撮影の組み合わせを行う手順の確立が今後の課題となる。現地で撮影した画像の仮判読をノートPC上で行い、同日中に近接撮影を行う手順も考えられる。

表Ⅱ.2.1-6 枯死木ドローン調査の概要

項目	A. 周辺撮影	B. 面的撮影	C. 近接撮影	(参考) 踏査・眺望
撮影方法	ドローンを真上に上げて、回転しながら周辺斜め下方向を全方位撮影する。	あらかじめ設定したルート上を一定高度で飛行させて、飛行範囲全面を真上から漏れなく撮影する。	他の調査で既知の枯死木等が確認されているが樹種判別等が確認できない場合、当該木上空に飛行して、近接撮影する。	道路沿いの眺望地等より双眼鏡や望遠鏡を用いて目視確認を行う。
メリット・デメリット				
①撮影範囲 (判読可能範囲)	△離陸地点より数百～1km 範囲	○離陸地点より数 km 範囲	(当該木及び周辺のみ)	眺望地より双眼鏡で数 km 程
②撮影時間	○1 地点あたり短時間 (～数 10 分) で調査可能。	△1 地点あたり時間を要する (数 10 分～数時間)。	○1 対象木あたり短時間 (～数 10 分) で調査可能。	○1 地点あたり短時間 (～数 10 分) で調査可能。
③調整・手続き	○離着陸地点の許可のみが必要 (高度 150m 未満)	△撮影範囲の土地所有者・管理者の許可も必要 (高度 150m 未満) △手続きに時間要 (高度 150m 以上)	△撮影経路の土地所有者・管理者の許可も必要 (高度 150m 未満)	◎ほとんど不要
④見落とし	△地形による死角あり	○死角なし	(既知の枯死木が対象)	△地形、遮蔽による死角あり
⑤樹種判別 (広葉樹の枯死木・紅葉、マツの枯死木 等)	○斜方向からの撮影で樹形が分かりやすい。 △遠方の樹木は判別しにくい。 △逆光に弱い。	△真上からの撮影のため樹形が分かりにくい。 ※重複撮影して立体視を行うことで樹形把握も可能。	◎当該木に接近して真上、または斜方向から撮影できるので、高い精度で樹種判別可能。	○斜方向・横方向からの観察で樹形が分かりやすい。 △遠方の樹木は判別しにくい。 △逆光に弱い。
⑥枯死木の位置 落とし精度	△低い (～数百 m ずれ)	○高い (～数十 m ずれ)	◎ずれ無し (～数 m ずれ)	△低い (～数百 m ずれ)



△位置精度低い

△遠方の樹木は判別しにくい  
△逆光に弱い。  
△地形による死角あり

○斜方向からの撮影で樹形が分かりやすい

A. 周辺撮影



○位置精度高い

○死角なし

△真上からの撮影のため樹形が分かりにくい  
※重複撮影して立体視を行うことで樹形把握も可能

B. 面的撮影



◎位置精度ずれ無し

◎当該木に接近して真上、または斜方向から撮影できるので、高い精度で樹種判別可能  
※他調査により既知の枯死木が対象

C. 近接撮影



△位置精度低い

△遠方の樹木は判別しにくい  
△逆光に弱い  
△地形、遮蔽による死角あり

○斜方向・横方向からの観察で樹形が分かりやすい。

(参考) 踏査・眺望

なお、面的撮影の画像から判読したマツ枯れ候補木について現地確認を行った結果、マツ枯死木に類似する主な広葉樹として下記の知見が得られた。

○モクマオウ

樹形や葉色が類似するため誤認されやすい。褐変による枯死は少なく、くすんだ色ではあるが、一部では風害による集団枯れも発生する。

○ソウシジュ

樹形や葉色が類似するため誤認されやすい。褐変による枯死は少ない。

○イイギリ

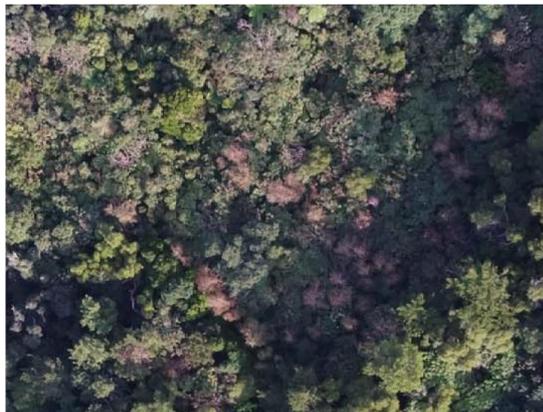
樹形が類似し、秋季に紅葉するために、一時的ではあるが、マツ枯れによる褐変と類似する。

○センダン、ハマセンダン

樹形が類似し、秋季に紅葉するために、一時的ではあるが、マツ枯れによる褐変と類似する。

○ハンノキ

樹形が類似し、タイワンハムシによる食害で褐変した際に、マツ枯れとの判別を困難にする。褐変木は多く、マツの集団枯れと誤認されやすい。



ハンノキの褐変

○エゴノキ

紅葉、落葉後の樹皮や枝葉が赤褐色に見える。多くの谷部にまとまって分布することから、マツや広葉樹の集団枯れと誤認されやすい。



落葉後のエゴノキ

課題③ ドローン調査の手続き・留意事項に関する課題

ドローン調査実施にあたって、多くの必要な手続き、留意事項があることで、想定外に時間を要することが確認された。

ドローン調査に伴い必要となる調整・許可申請について、沖縄県にて平成29年～令和元年度に実施した沖縄本島北部地域における枯死木ドローン調査実績より、申請対象や申請資料、提出先等の事例を示す。

表Ⅱ.2.1-7 監視に伴う調整・申請先（沖縄本島北部地域での調査事例）

作業項目	申請対象	申請資料	提出先		許可資料	申請者	申請期間	参考様式	A. 周辺撮影 (150m未満) B1. 面的撮影 (150m未満) B2. 面的撮影 (150m以上) C. 近接撮影 (150m未満)				備考
									A	B1	B2	C	
ドローン調査	地上30m以上～150m未満の飛行 (県営林)	県営林入林使用承諾願申請書	沖縄県	森林管理課	県営林入林許可証	受託業者	2週間程度	有		○		○	
	地上30m以上～150m未満の飛行 (市町村有林)	市町村有林入林許可申請書	当該市町村		市町村有林入林許可証	委託者	2週間～1ヶ月程度	有		○		○	
	地上30m以上～150m未満の飛行、離発着 (琉球大学与那演習林)	亜熱帯フィールド科学教育研究センター使用申請書	琉球大学	亜熱帯フィールド科学教育研究センター 与那フィールド	(口頭受理)	受託業者	2週間程度	有	○	○		○	県営林の入林許可も必要 調査期間は2週間程度毎に1通
	離発着場使用 (林道 (県))	(口頭連絡)	沖縄県	森林管理課	—	委託者	2週間程度	無	○	○	○	○	
	離発着場使用 (林道 (市町村))	市町村有林入林許可申請書	当該市町村		市町村有林入林許可証	委託者	2週間～1ヶ月程度	有	○	○	○	○	市町村有林入林許可申請書に林道を併記して申請も可
	離発着場使用 (施設等)	(個別に要確認)	—	(施設毎の管理担当者)	—	受託業者	—	—	○	○	○	○	施設、海岸、河川、土地改良区等
	目視外飛行	無人航空機飛行許可申請	国土交通省大阪航空局	無人航空機飛行許可申請 (オンライン) https://www.dips.mlit.go.jp/portal/		無人航空機の飛行に係る承認書	受託業者	1ヶ月程度	無		○ ※目視内なら不要		事前にドローン離発着箇所の許可が必要 (許可を得る途中段階でも申請可)
	上空150m以上の飛行		国土交通省大阪航空局那覇空港事務所	那覇空港事務所 航空管制運航情報官 運用室		無人航空機の飛行に係る許可書	受託業者	1ヶ月程度	無			○	飛行当日に調査開始前・終了後の連絡が必要
	北部訓練場制限空域内の飛行	ADJACENT OVERFLIGHT REQUEST	沖縄防衛局	沖縄防衛局 企画部 地方調整課 連絡調整室	(口頭回答)	受託業者	2週間程度	有	○	○	○	○	制限空域での演習期間は飛行禁止
やんばる国立公園内のドローン調査連絡	調査計画書	環境省	沖縄奄美自然環境事務所 やんばる自然保護官事務所	(メール回答)	委託者	—	無	○	○	○	○		

また、確認された留意事項を以下に示す。

山間部や公共の場におけるドローン調査は、飛行技術と関連法規や安全対策に関する知見が必要とされる。

○ドローンに関する技術と知見

山間部や公共の場におけるドローン調査は、飛行技術と関連法規や安全対策に関する知見が必要とされる。

特に、広範囲でのB. 面的撮影では「目視外飛行」の許可が必要となる。必要な教育訓練を受けることが飛行要件となるため、十分な実績を持つ専門技術者または専門業者（委託）による飛行撮影が必要とされる。

#### ○撮影高度について

高度 150m 以上で飛行を行う場合は、国土交通省への許可申請が必要となる。離着陸地点及び空域を管轄する機関の許可と飛行範囲の報告が必要になる。B. 面的撮影のうち広範囲での調査や土地所有者が多いエリアの調査に適している。

高度 150m 未満で飛行を行う場合は、国土交通省への許可申請は不要であるが、離着陸地点に加えて飛行経路上の土地所有者・管理者の許可が必要となる。A. 周辺撮影やB. 面的撮影のうち土地所有者・管理者が少ないエリアの調査に適している。

#### ○米軍基地に関わる対応①（改正ドローン規制法）

改正ドローン規制法が 2019 年 6 月 13 日に施行された。小型無人機ドローンを米軍施設や訓練水域、自衛隊施設とその周囲約 300メートルの上空で飛ばすには同意が必要になった。対象となる施設として、現時点では沖縄県内の米軍施設、自衛隊施設等は指定されていない。

ただし、2018 年 2 月に「米軍施設の上空やその周辺においてヘリやドローンを飛行させることは、重大事故につながるおそれがあり大変危険行為ですので、行わないで下さい。」とのお願い文が防衛省・警察庁・国土交通省・外務省より「お願いとお知らせ」文として出されている。

よって、米軍施設や訓練水域、自衛隊施設とその周囲約 300メートルの上空においては、沖縄防衛局に問い合わせが必要である。

#### ○米軍基地に関わる対応②（制限空域）

米軍北部訓練場は、2016 年 12 月に施設・区域の一部が返還されたが、上空に設定されている制限空域は変更されていない。現北部訓練場から離れたエリアであっても、ドローン調査を制限空域にかかるエリアで実施する場合は、沖縄防衛局を通じて米軍への調整が必要になる。制限空域内での演習期間にあたる場合には、ドローンの飛行は禁止される。

以上より、毎年変化する手続きや留意事項に対応しつつ、ドローン調査と眺望地調査等の連携の最適化を図っていくことが今後の課題となる。

#### 課題④ドローン調査での多大な分析時間の課題

面的撮影によって高精度の枯死木調査が可能となるが、例えば5km 方形の広範囲の撮影を行った場合、撮影画像が数千枚となるため、枯死木の判読と位置落とし作業に週～月単位で時間を要する場合もある。撮影時期によっては、サンプル調査や伐倒対策の時期に影響する可能性があり、撮影時期と分析時間を考慮した撮影スケジュールとする必要がある。

今年度のドローン調査（面的撮影）による取得画像は約8000枚に及んだ。各画像について、下記の手順で判読を行った。

<ドローン調査結果の分析手順>

- a. 撮影画像を通覧し、枯死木の可能性のある個体を抽出し、樹種分類（マツ・広葉樹等）を行う。
- b. 樹種や枯死・紅葉の判別が困難な場合は、①過去の空中写真の確認、②Google ストリートビューでの確認、③撮影画像での立体視（重複画像がある場合）等を行い、精度を向上させる。
- c. 抽出した枯死木の位置を、撮影画像と Google Earth 衛星写真を並列縦覧し、その位置を比較し、Google Earth 上にプロットする。
- d. Google Earth 上のプロットデータより、枯死木の位置座標を抽出する。
- e. 上記の情報について、個票に整理する。

しかし、a～e の手順で画像重複により重複抽出してしまうこと、c の手順が煩雑なことで、分析時間に、調査完了後約1か月を要することとなった。複数エリアの調査を行ったために、あわせて数か月を要することとなった。

上記の課題については、撮影画像のオルソ化によって効率化を図れる可能性があることから、一部の撮影画像を用いて、オルソ化の試行を行った。

オルソ化は、一般的に用いられているソフトウェア Metashape (Agisoft 社) と PIX4D (Pix4D 社) を使用した。結合結果を図Ⅱ. 2. 1-13～14 に示す。

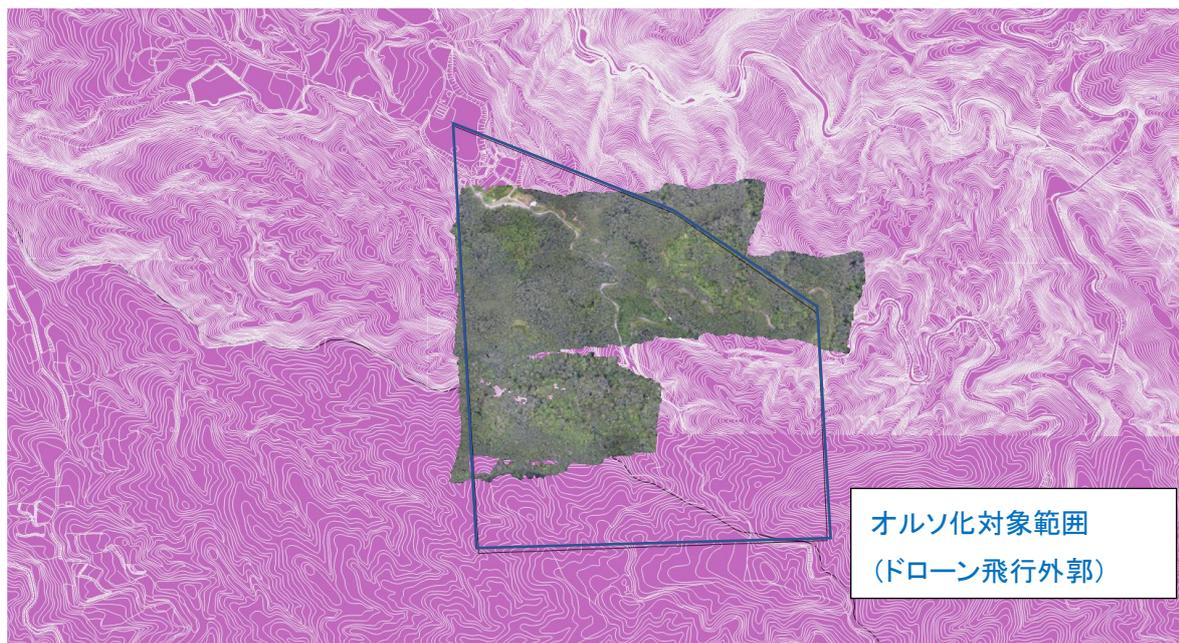
山間部の結合精度が低い状況であり、対象範囲の半分程度しか出力されず、分析に供するものにはならなかった。

面的撮影では離陸地点で設定した固定高度で飛行させることから、谷部ではラップ率が高くなるが、尾根部ではラップ率が低くなり、様々なラップ率が混在することが結合率を低下させていることが考えられた。

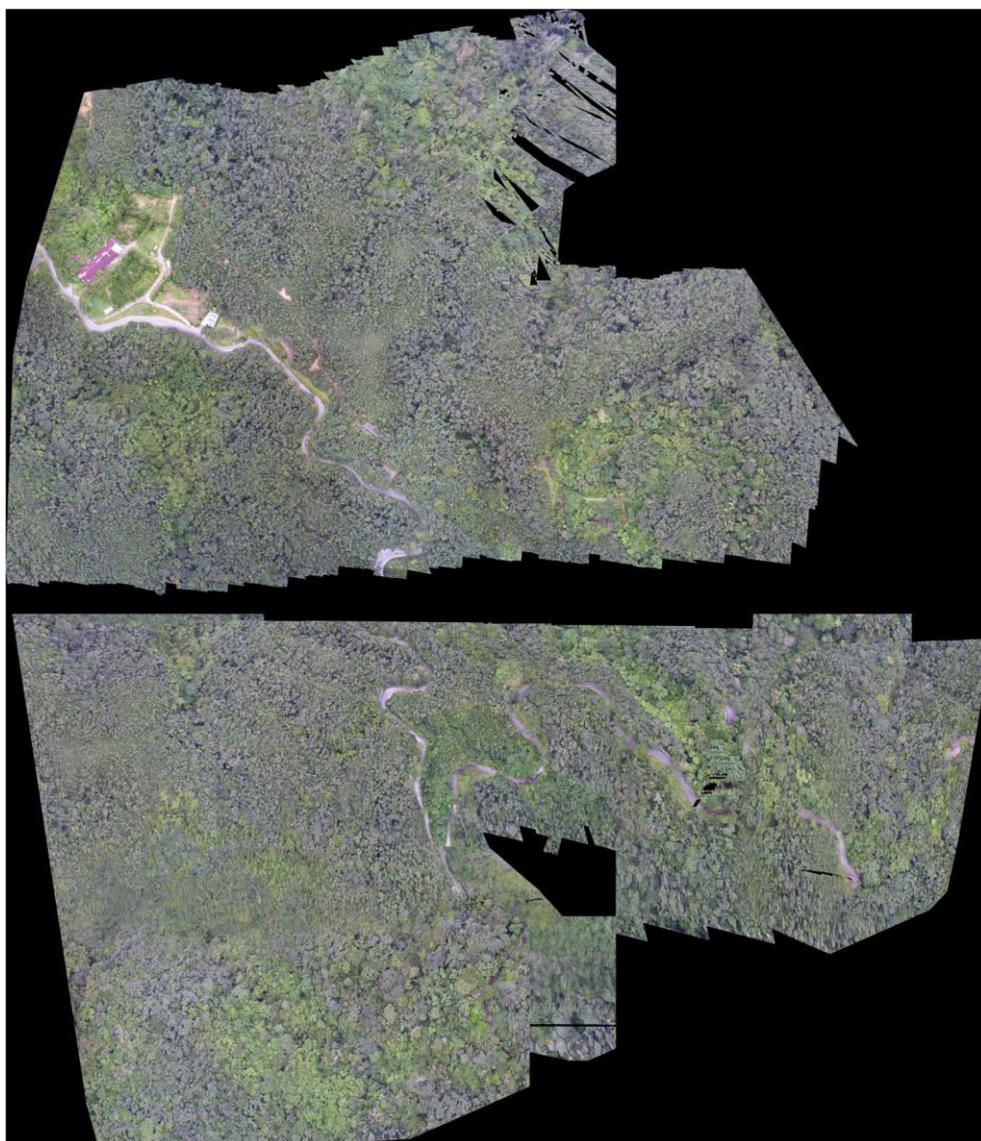
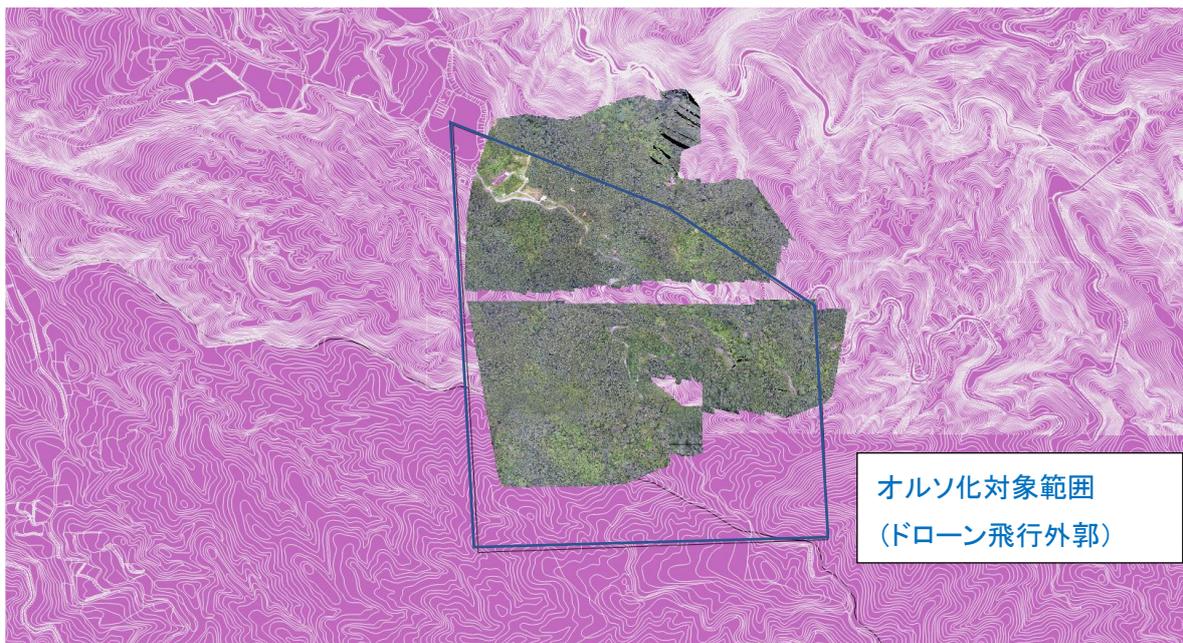
今後は、地形に合わせて高度を変えながら（地上高度を固定して）飛行し、各画像のラップ率を安定させることによって、精度高いオルソ化を目指すことが考えられる。

現在、地形に合わせて飛行できるドローン（ハード）は非常に高価であり、地形に合わせて飛行させて、かつ面的撮影可能なソフトウェアは提供されていない。

ドローンについては、著しい技術開発が進んでいるので、今後最新の技術を用いることによってドローン調査→オルソ化の手順を確立することが望まれる。



図Ⅱ. 2. 1-13 Metashape によるオルソ化テスト結果



図Ⅱ.2.1-14 PIX4Dによるオルソ化テスト結果

## 課題⑤現地確認・サンプル調査の労力・安全性に関する課題

険しい地形条件にあるやんばるの森林域において、山間部の多くのマツ枯れ候補木を現地確認しサンプル採取することは、労力的に期間的に厳しい場合が多い。

そこで地域の森林踏査や安全管理に多くの経験と知見を有する国頭村森林組合及び北部森林組合に調査を委託して、精度向上と効率化を図った。

それでもすべての候補木を踏査にて確認することは期間的に困難であり、一部は伐倒対策時にサンプル調査を実施する対応を図っている。

今後は、必ずサンプル調査を実施するエリア、必ずしも必要のないエリアを明確にゾーニングして、調査を行っていくことが望まれる。松くい虫被害の有無に関わらず枯死木を除去すべき重要エリアをゾーニングすることにより、伐倒対策時にサンプル調査を行うことで効率化を図ることも考えられる。

また、樹種判別があいまいなマツ枯れ候補木については、現地確認踏査が無駄にならないように、事前にドローン調査（近接撮影）を実施することも考えられる。

## 課題⑥他調査との共有・連携に関する課題

サンプル調査は、マツ枯れ候補木の確認にあわせて、逐次的に実施されること、本調査意外にも複数の機関がサンプル採取を行う場合があること（森林資源研究センター、森林組合等）から十分な最新情報が得られずに、重複調査を行う可能性や、陽性となった枯死木周辺の追加調査のタイミングが遅くなる場合があった。

眺望地現地踏査・ドローン調査～伐倒駆除の期間は11月～3月に限られており、サンプル調査～検出結果、分布図を一元管理して随時共有する仕組みづくりを行うことにより、一連の円滑化を図ることが今後の課題となる。

## 課題⑦調査～伐倒駆除までの全体工程に関する課題

眺望地現地踏査・ドローン調査は、被害の発生が収束傾向となる11月頃（その後も枯死は発生する）以降に実施している。これより調査時期を早くすると、多くの被害木を見逃しかねない。

眺望地現地踏査・ドローン調査、サンプル調査、検出試験を経て、伐倒駆除に向けて市町村による地権者確認依頼、伐倒駆除の発注作業、伐倒作業を5か月間で実施する必要があるが、一部は期間不足による伐倒駆除の制限も発生している。

今後は対策が必要な被害木を確実に伐倒駆除するために、課題①～⑥における効率性の課題を改善していくことが望まれる。

- ①眺望地現地踏査とドローン調査のより円滑な連携システムの構築
- ②ドローン調査の周辺撮影または面的撮影と近接撮影の組み合わせ手順の確立
- ③ドローン調査と眺望地現地踏査等の連携の最適化（毎年変化する手続きや留意事項への対応）
- ④撮影画像のオルソ化による判読及び位置情報取得の効率化
- ⑤サンプル調査方針のゾーニングとドローン調査との連携
- ⑥サンプル調査結果・分布情報の一元管理と共有の仕組みづくり