

高精度な森林情報の整備・活用のための
リモートセンシング技術や
その利用方法等に関する手引き

平成 30 年 3 月

林野庁

目 次

1. 手引きの概要	1
1.1 手引きの目的	1
1.2 手引きの構成	1
1.3 リモートセンシング技術の概要	2
2. 利用目的に応じたリモートセンシング技術の活用	5
2.1 森林資源量の調査	5
2.2 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成	17
2.3 森林境界の明確化	23
3. 光学衛星画像	29
3.1 技術的特徴	29
3.2 データ取得方法	32
3.3 代表的な機器	36
4. 空中写真	37
4.1 技術的特徴	37
4.2 データ検索方法	40
4.3 代表的な機器	42
5. 航空レーザ	43
5.1 技術的特徴	43
5.2 データ取得方法	47
5.3 代表的な機器	49
6. UAV 写真	50
6.1 技術的特徴	50
6.2 UAV 飛行に関するガイドライン	53

6.3 データ取得方法	56
6.4 SfM 解析代行サービス	57
6.5 代表的な機器	58
7. UAV レーザ	59
7.1 技術的特徴	59
7.2 代表的な機材	62
8. 地上レーザ	63
8.1 技術的特徴	63
8.2 データ取得方法	66
8.3 代表的な機材	66
9. 導入事例	68
9.1 リモートセンシング技術導入事例調査	68
9.2 導入事例集	77
10. リモートセンシングデータを活用するためのソフトウェア	89
10.1 GIS ビューワー	92
10.2 解析ソフト	94
用語集	107
参考文献	114

1. 手引きの概要

1.1 手引きの目的

我が国の森林は小規模零細な所有構造であり、意欲ある担い手が複数の所有者の森林を取りまとめて施業を実施する集約化の取り組みを進めていく必要があるが、森林所有者の高齢化や世代交代が進む中で、所有者の特定が困難となる課題が顕在化し始めていることから、平成 28 年の森林法改正により林地台帳制度が創設され、市町村が森林所有者に関する情報を整備する仕組みが整えられたところである。

森林施業の集約化を効率的に進めるためには、森林所有者・境界の明確化と併せて、森林資源に関する精度の高い情報の整備・活用が不可欠であるが、人工林を主体とした充実した森林資源の積極的な活用を進めている中で、従来の現地調査を主体とした資源把握方法では限界があることから、最新の ICT を活用した資源把握等の取組を積極的に推進していく必要がある。

こうした中、平成 28 年 5 月に閣議決定された森林・林業基本計画において、「リモートセンシングやクラウド^{*}等の ICT の活用を進め、森林資源情報等の精度向上を図る」こととされているほか、平成 29 年 3 月に閣議決定された地理空間情報活用推進基本計画（第 3 期）においても、地理空間情報の活用推進に関する具体的政策として、「高精度な地理空間情報の高度な活用による新産業・新サービスの創出」の部分に、「最新の森林計測技術やクラウド技術等を活用した林業の成長産業化」が位置づけられているところである。

リモートセンシング技術の発展は目覚ましく、これまでより詳細なデータが取得できるようになっている。また、UAV^{*}（ドローン）の普及により手軽に空中写真が取得できるようになり、リモートセンシング技術はより身近なものになりつつある。しかし、林業分野では、リモートセンシング技術を取り入れ、森林管理に使用している先進的な事例が一部存在するものの、多くの林業従事者や林務に携わる者にとっては、これらを利用しようとしたときには一から情報収集を行わなければならない、まだまだ身近な技術とはいえない。

このため、現段階で取り組まれているリモートセンシング技術を導入した先進事例や既存の実証成果について情報収集を行い、都道府県や市町村、林業事業体等による森林情報の整備・活用の推進に向け、最新のリモートセンシング技術の普及が図られるような利用方法等に関する手引きを作成する。

1.2 手引きの構成

手引きは 10 章から構成されており、第 2 章では森林資源量の調査、既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化といった 3 つの目的に応じてリモートセンシング技術を活用した調査方法やそこで得られるデータ等について解説を行った。また、それぞれの目的ごとに、リモートセンシング技術を適用する面積や活用したいデータ、調査方法から活用すべきリモートセンシング技術の選定フローを作成した。

また、第 2 章で示したリモートセンシング技術については、おおよそ計測範囲が広い順に、光学衛星画像^{*}（第 3 章）、空中写真（第 4 章）、航空レーザ^{*}（第 5 章）、UAV 写真（第 6 章）、UAV レーザ（第 7 章）、地上レーザ（第 8 章）の技術的特徴や取得できるデータ、取得方法等について解説した。

第 9 章では手引きの作成のために行ったヒアリング結果とリモートセンシング技術の導入事例をとりまとめた。

第 10 章ではリモートセンシング技術により取得したデータの解析や活用に必要となるソフトウェアについて、リモートセンシングデータを解析するためのソフトウェアと解析したデータを表示する GIS^{*}（Geographic Information System：地理情報システム、）について代表的なものを掲載するとともに、巻末には用語集を付し、手引き中の専門的なリモートセンシング用語について解説した。なお、本文中の各章に初めて表記される専門用語に「*」を付けた。

1.3 リモートセンシング技術の概要

戦後造成した人工林資源が本格的な利用期を迎える中、これらの森林資源を循環利用し、林業の成長産業化を図るためには、施業の集約化や路網整備を進めていく必要がある。地域の森林情報や地形情報を効率的に把握し活用していくことが重要である。しかし、その把握のためには、実際に調査者が森林内で立木の胸高直径や樹高、立木本数を毎木調査や標本調査等を行うことにより計測しており、非常に多くの労力を必要としていた。このような中、広範囲の調査を行うことが可能なリモートセンシング技術の森林計測分野への応用が盛んに行われ、リモートセンシング技術を活用することにより、広範囲の面的な森林情報を短期間に一定精度で把握することができるようになった。また、調査方法によってはこれまでのリモートセンシング技術では取得できなかった樹幹の曲がりや樹冠の大きさ等の情報も取得できるようになっており、現地調査の効率化や省力化を図ることが可能となっている。

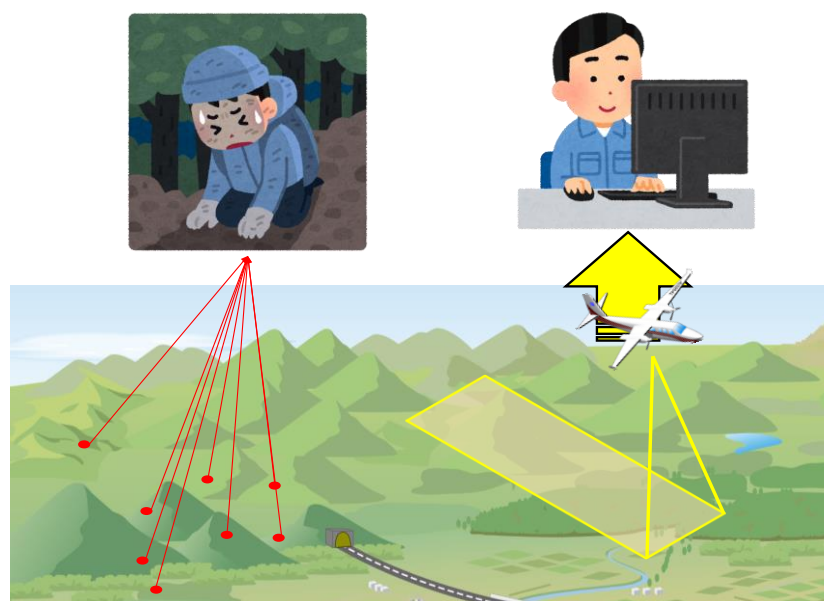


図 1-1 リモートセンシング技術の長所

リモートセンシング技術は対象を非接触で計測・観測する技術であり、遠隔探査技術とも呼ばれる。観測装置（センサ）と観測装置を搭載する機器（プラットフォーム）の組み合わせによりさまざまな技術があり、それぞれ観測できる対象や事象が異なる。センサとプラットフォームの組み合わせを表 1-1 に示す。表中の用語は一例であり、様々な呼称があることに留意する必要がある。

表 1-1 リモートセンシング技術

センサ/プラットフォーム	光学センサ	レーザ	レーダ
衛星	光学衛星画像	衛星レーザ測距	衛星合成開口レーダ
航空機	空中写真	航空レーザ	航空機合成開口レーダ
UAV	UAV 写真	UAV レーザ	無人機搭載合成開口レーダ
地上	手持ちカメラ	地上レーザ	地上設置型合成レーダ

プラットフォームには、衛星、固定翼や回転翼といった航空機、UAV といった上空から計測を行うもの、車両や三脚等の地上から計測を行うものがある。一般的には、高度が高いところから計測を行うことで、広範囲のデータを取得でき、高度が低い場合にはデータ取得範囲は小面積になるが、より高精度なデータが取得可能である。

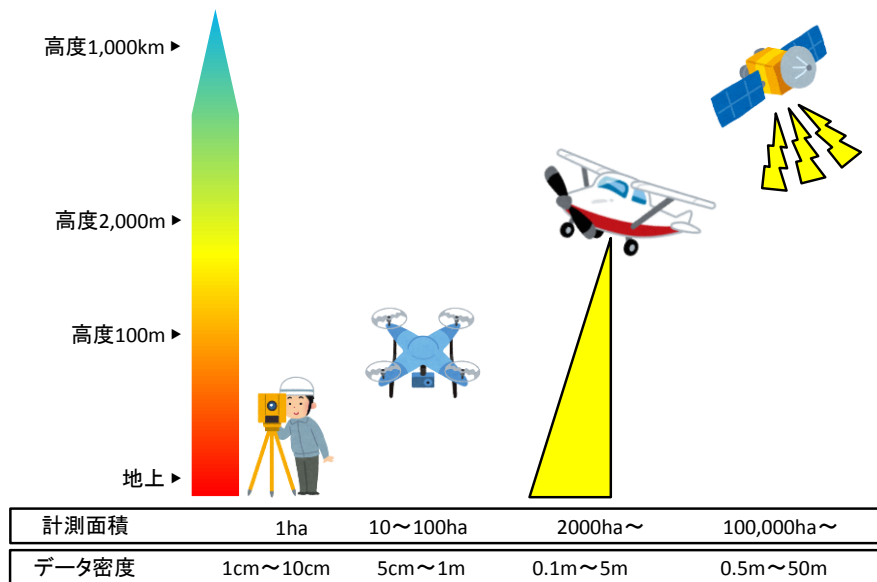


図 1-2 プラットフォームの比較

センサは受動型と能動型に大別され、受動型は対象から放射された電磁波を収集するものであり、写真計測は太陽の反射光を受容し観測を行っている。一方で能動型は観測装置が電磁波を照射し、反射した電磁波を収集するものである。レーザ計測ではレーザ光を照射し、地表の物体に反射したレーザが返ってくるまでの時間から三次元座標を取得する。

また、センサは感知する電磁波の波長帯により特性が分かれる。波長帯には X 線や紫外線、可視光線、赤外線、電波、マイクロ波等波長の長さにより種々あるが、森林資源量の調査や既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化等の森林計測のために多く使用される波長帯は可視光線、近赤外線※、中間赤外である。可視光線は目に見える波長帯であり、主に写真計測に用いる。一方で近赤外線や中間赤外は人の目に見えない波長のうち、可視光線の赤色に比較的近い波長帯であり、レーザ計測では近赤外線や中間赤外の波長帯をレーザ光として使用している。植物の葉は近赤外線の波長帯を強く反射し、植物によって、その反射の強さが異なる。こ

の違いを利用して植生の分類が行われる。光学衛星画像では複数の波長帯を観測できるセンサを用いることが一般的であり、可視光域に加えて近赤外線等の波長帯の情報を取得することができる。

なお、森林資源量、路網等の森林情報を取得するリモートセンシング技術は取得できるデータの広さとその利用用途により大きく基盤データと補完データの2つに分類することができる。また、使用するセンサにより光学センサとレーザセンサの2種類に分けられる。

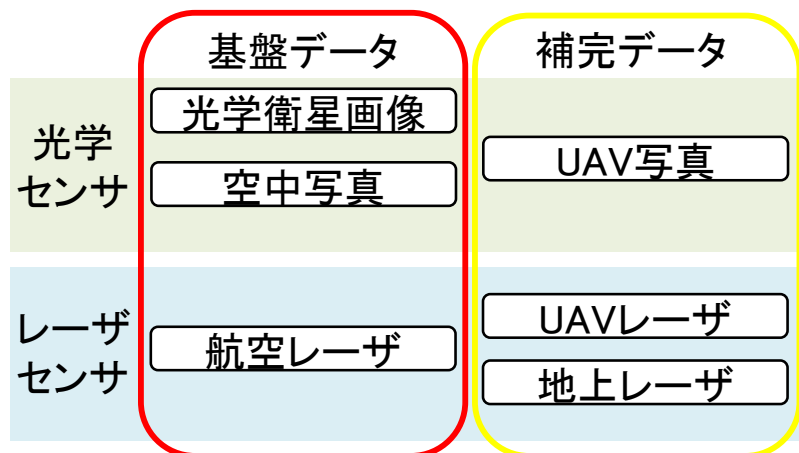


図 1-3 森林計測でのリモートセンシング技術の分類

基盤データは光学衛星画像、空中写真、航空レーザによって取得されたデータであり、数千ha以上の広範囲をカバーする情報である。基盤データは森林資源量の調査や既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化のほか、治山、林地台帳等の関連する分野にも活用することができるため、クラウド上での基盤データを整備することでリモートセンシング技術の利活用が進むと考えられる。

一方、補完データは、UAV写真、UAVレーザ、地上レーザによって取得されるデータであり、局所的かつ高精度なデータである。補完データを計測する場合は以下の3点が考えられる。

- 基盤データが整備されていない箇所で情報を整備するため
- 基盤データが整備されているが、現況の変化により情報を更新する必要があるため
- 基盤データでは取得できない、より高精度なデータを取得するため

基盤データが整備されていない箇所について、対象が小面積である場合は、補完データにより情報を整備することが望ましい。また、台風や豪雨、火山活動等の災害や皆伐や間伐等の施業により現況が変化した場合には基盤データと現況の乖離をなくすため、補完データにより基盤データを更新することが望ましい。この他、基盤データは広範囲を効率的に整備できるものの、取得困難な情報もある。具体的には、衛星や航空機を用いた上空からの計測であるため、樹幹等の林内の情報が取得できないといった問題がある。整備する情報が活用目的に対して不十分である場合には情報を補うために補完データが必要となる。補完データの計測機器はUAVや可搬式の測量機器であるため、手軽にデータを取得できる利点があり、複数の時期の補完データを収集することで高頻度で取得されたデータを扱うことが可能である。さらに、位置情報等により基盤データと紐づかせてクラウド上で共有することで、相乗的な効果を期待することができる。

2. 利用目的に応じたリモートセンシング技術の活用

都道府県や市町村、林業事業者等が高精度な森林情報を整備・活用するために以下の3つの利用目的に対応したリモートセンシング技術について示す。なお、リモートセンシングによって得られる成果は多岐に渡り、また成果を得る方法も数多く存在することから、本章では、求める成果を得るためにはどのような技術が必要か、また、それぞれの技術を活用するにあたっての留意点等について解説する。

2.1 森林資源量の調査

2.1.1 調査方法

リモートセンシング技術の導入目的として森林資源量の調査は最も多く、森林簿の更新や森林の評価のために使われている。森林資源量の調査では林相判読*により現況を把握する方法や材積等の森林資源量を推定するリモートセンシング方法が挙げられる。導入事例のヒアリングから明らかになった森林資源量の調査に対応するリモートセンシング技術の対応表を表 2-1 に示す。表中の「○」はヒアリング結果から導入事例があり、今後も一般利用が進む可能性の高い技術を表している。一方で、表中に「○」がないセンサについても技術的には森林資源量の調査が可能であるが、得られる結果の精度や運用目的を考慮した。例えば、UAV*レーザについて、エリア解析を実施することは技術的には可能であるが、単木解析を目的として運用されるセンサであることから、材積推定方法としてエリア解析には印を付けていない。

表 2-1 森林資源量の調査に対応するリモートセンシング技術

	対象面積	林相判読		樹高分布図	材積推定		
		自動判読	目視判読		標準地解析	エリア解析	単木解析
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							○

A) 林相判読

林相判読はスギ、ヒノキ等の針葉樹や広葉樹等の分布を広域に把握するために行われる。林相判読には光学衛星画像、空中写真（航空レーザの計測時に同時に撮影される空中写真）、UAV写真等の光学センサが用いられることが一般的である。林相判読の分類項目や精度は使用するセンサの解像度*や取得できる情報の多さで変わってくるため、林相判読結果の使用目的に応じたセンサの選定が重要となる。光学センサにはマルチスペクトル*、ハイパースペクトル*と呼ばれるセンサがあり、観測できる波長帯の数によって区分されている。林相判読の方法として、自動判読と目視判読に分けられ、多くの波長帯の情報を取得・情報を解析する光学衛星

画像では自動判読が、空中写真や UAV 写真では目視判読が行われる傾向がある。

また、過去に撮影された画像と直近に撮影された画像の差分をとることで、撮影間における皆伐跡地や残土投棄箇所等を抽出することが可能である。

一方、判読用データの多様化も進んでおり、樹高の高低を色で表現した樹高分布図の他、航空レーザや UAV レーザの反射強度（物体がレーザを反射する強さを示した数値）を利用して林相の識別用画像（林相識別図[※]）を作った事例もある。

a) 自動判読

光学衛星画像や写真に記録されている各観測波長帯（バンド[※]）のピクセル[※]（画素）値を基に機械的に分類を行う方法。精度は目視判読より劣るが、解析コストは目視判読よりも安価であり、QGIS や ArcGIS、ERDAS IMAGINE 等の解析ソフトで実施することができる。近年では目視判読の分類結果に近くなるようなディープラーニング[※]を利用した自動分類も研究されている。

i. 教師なし分類

分類する画像のピクセル（画素）値の特徴を解析し、同じような特徴を持つピクセル（画素）を同じ分類区分として、ソフトウェアが自動的に分類を行う方法である。解析前に画像と地物の対応関係を調べる必要がないため、時間的、人的コストを抑えつつ分類を行うことが可能である。しかしながら、分類結果には数字が割り振られるのみで、識別したい分類項目（スギ、ヒノキ等の情報）が付与されていないため、人為的に分類項目を割り振る必要がある。また、教師付き分類と比べると分類精度は低くなる傾向がある。

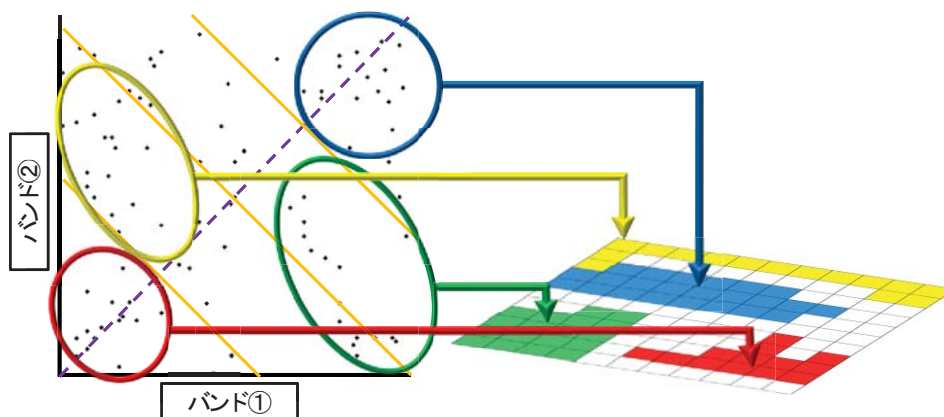
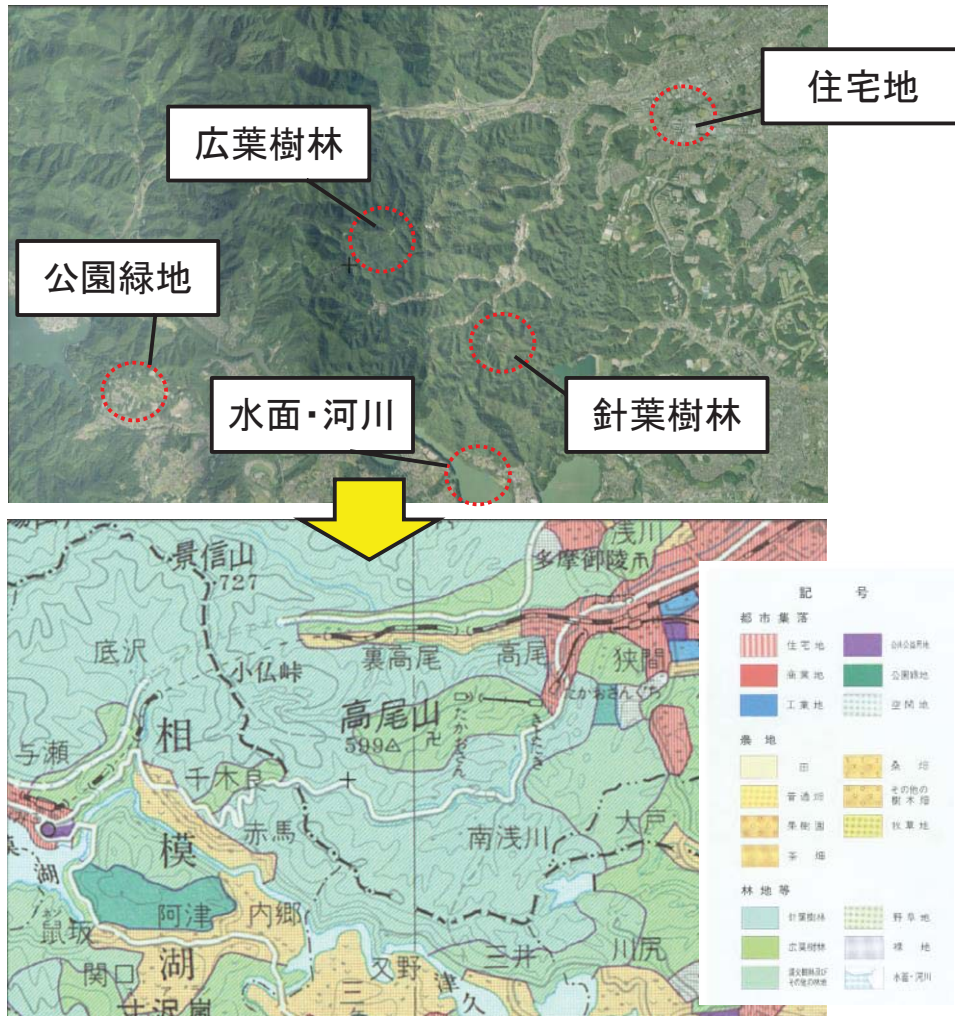


図 2-1 教師なし分類イメージ

ii. 教師付き分類

画像の一部から分類する項目の特徴的な箇所とその箇所のピクセル（画素）値の特徴量との関係を明らかにして、類似した特徴を持つピクセル（画素）を同じ分類項目として抽出する分類方法である。解析前に分類項目の特徴的な箇所を教師データとして作成する必要があるが、教師なし分類と比較すると時間や人的コストがかかるが、高い精度の分類結果を得ることができる。ただし、教師データを作成する作業者の熟練

度や現地精通度によっても分類精度が異なる。



20万分1土地利用図 国土交通省国土地理院HPより

図 2-2 教師付き分類イメージ

b) 目視判読

画像の色調や地物の形状から目視により判読し、境界線を描画することで林相区分図等を作成する方法であり、林相ごとに境界を引くために樹種や樹冠の大きさの判断、地域特性等の把握といった専門的な知識を必要とする。自動判読と比べ時間と人的コストがかかるが、より多くの分類項目の設定やより誤差の少ない分類等、高い品質の林相図を作成することができる。

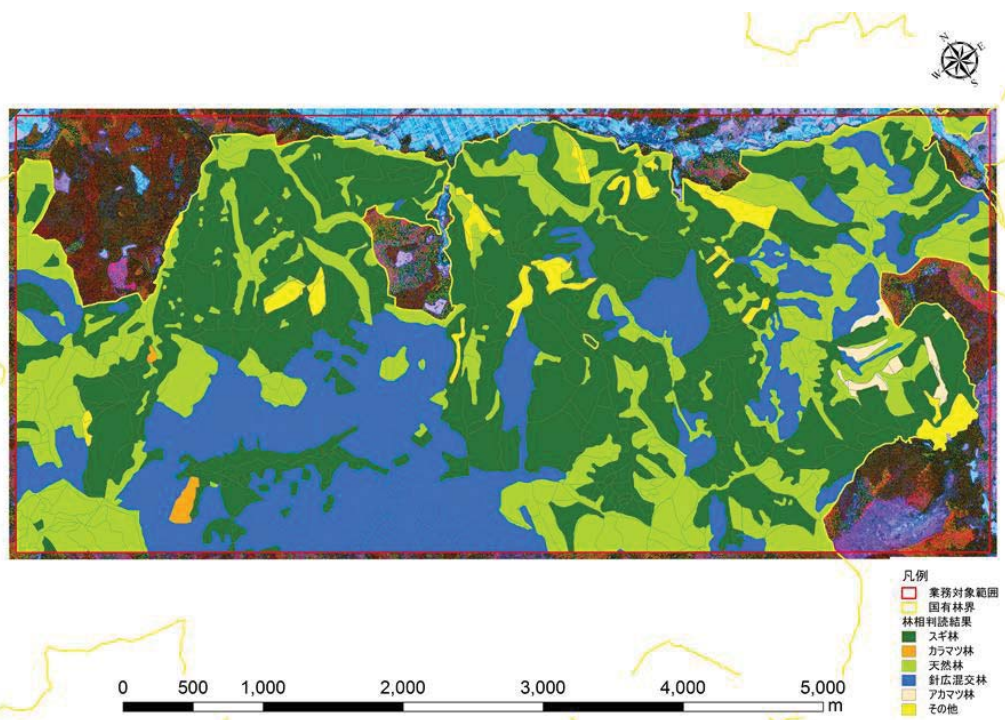
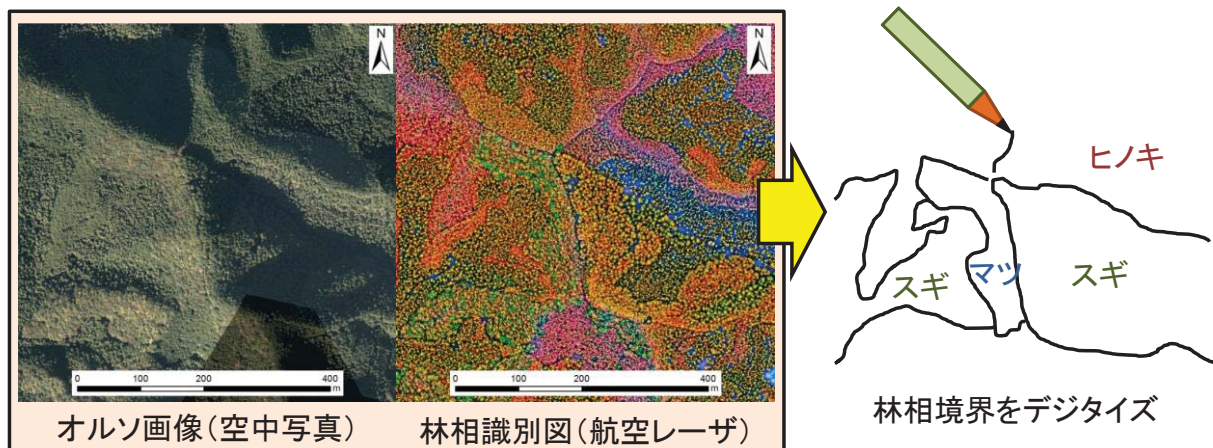


図 2-3 林相区分図の作成事例

(平成 23 年度森林・林業分野における航空レーザ技術の活用検討調査【東北森林管理局】)

B) 樹高分布図

任意のメッシュ[※]内 (5~10m メッシュ) に存在する立木の平均樹冠高や最大樹冠高を示したデータである。表層高[※] (DSM : Digital Surface Model) と地盤高[※] (DEM : Digital Elevation Model) の差分である樹冠高[※] (DCHM : Digital Canopy Height Model) から作成でき、後述するエリアベースの材積推定 (p.11) の基データとなる。表層高と地盤高の両方を航空レーザのデータから作成した場合は高い精度の樹高分布図を取得することができる。一方で、UAV 写真から SfM[※] (Structure from Motion) ソフト等で表層高を作成することができるが、写真からは詳細な地盤高を作成することが困難なことから、アーカイブの地盤高を利用して樹冠高を算出する方法がある。アーカイブの地盤高は 5m もしくは 10m メッシュで整備されていることが多く、地盤の形状によっては樹高に誤差が生じる可能性がある。また、SfM で作成され

る表層高とアーカイブの地盤高の高さに違いが生じる可能性がある。例えば、林道等の裸地部で表層高と地盤高の高さが一致する箇所であっても、UAV の GNSS※精度等の影響で表層高と地盤高が異なることがある。この場合、表層高と地盤高の差分を計算したときに樹冠高の高さが不正確な情報となってしまう。高い精度の樹冠高を取得するため、表層高の情報を GCP※（Ground Control Point：地上基準点）で補正し、アーカイブの地盤高との高さ調整を実施することが重要となる。また、UAV 写真から作成する表層高は林分高としての高さ情報は十分な精度があるが、撮影条件、地形や影の影響等により単木レベルの把握（単木解析）には適していない。なお、UAV 写真とアーカイブの地盤高を用いて樹冠高を求める場合、航空レーザ計測と比較して、コストを抑えることができる。

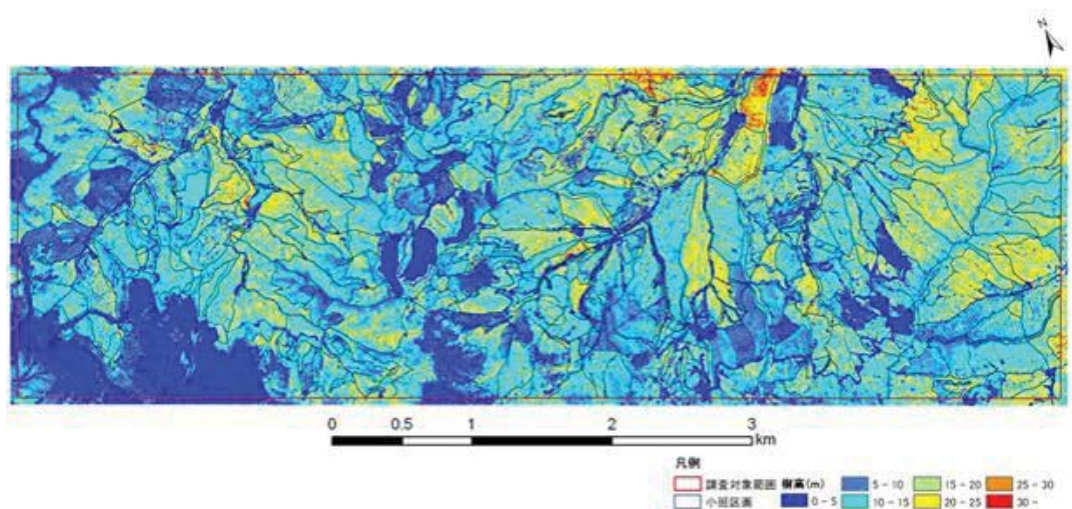


図 2-4 樹高分布図の作成事例

(航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】)

C) 材積推定

材積推定は樹高等の情報を基に行われ、①標準地解析、②エリアベース解析、③単木解析の3つの方法が用いられる。それぞれの解析結果から取得できるデータについては、表 2-2 から表 2-4 に示す。

a) 標準地解析

従来の標準地調査における現地調査に代わり、リモートセンシングデータ技術を活用して標準地の森林情報を収集し、材積を推定する方法である。具体的には、任意で設置した標準地において空中写真や UAV 写真の立体視※により樹高と立木本数を計測し、林分密度管理図※より 1ha 当たりの材積を算出する。比較的高度な技術を要しないことから、事務所の机上で必要な時に必要な範囲の材積推定の解析を行うことができる。ただし、広域を対象とする場合、標準地のデータ数を増やす必要があるため、時間や人的コストが課題となる。また、より正確な樹高を計測するためには、標定計算結果から得られる空中写真や UAV 写真の位置情報とアーカイブの地盤高の高さ調整を実施する必要がある。

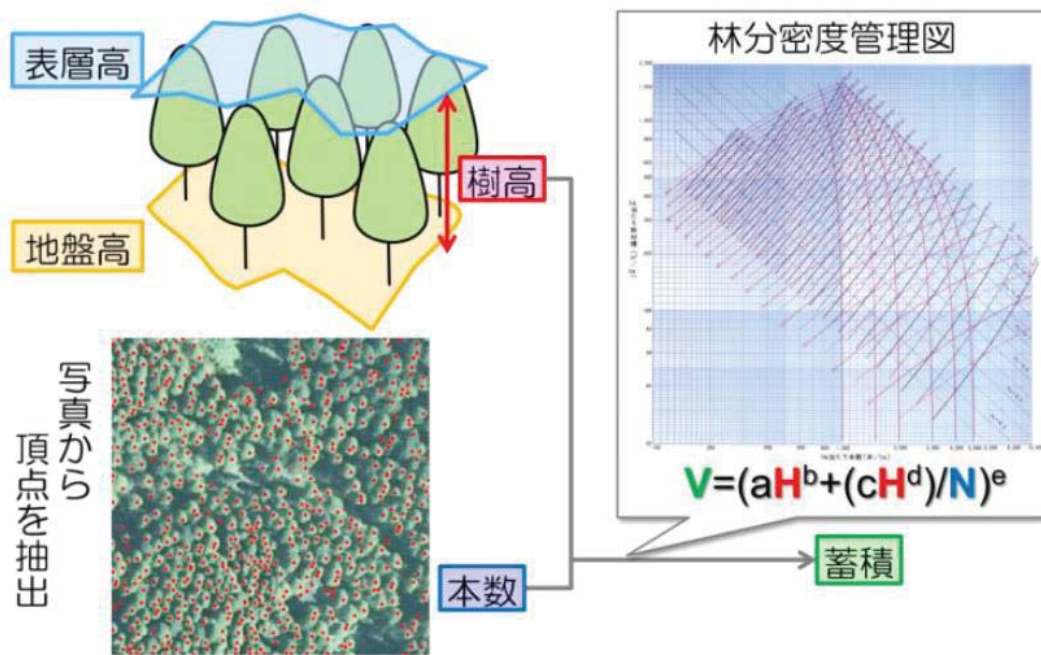


図 2-5 空中写真による標準地解析実施事例

(平成 24 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業報告書より抜粋)

表 2-2 標準地解析で取得できるデータ

データ整備単位	取得データ
標準地	立木位置、立木本数、樹高、材積、 収量比数、相対幹距比
小班等（標準地からの推定）	立木密度、平均樹高、ha 材積、収量比数、 相対幹距比

b) エリアベース解析

前述の B) 樹高分布図 (p.8) と現地調査で得られた樹高と材積の関係性を利用して広域の材積をエリアベースで推定する方法である。具体的には、航空レーザ計測、UAV 写真を活用して作成した樹高分布図に対して現地調査から得られた樹高・材積回帰式を適用して、任意の範囲内の ha 材積を推定する。エリアベース解析では立木密度や胸高直径の把握はできない点に留意する必要がある。また、樹高・材積回帰式の作成には、30 点程度 (対象とする範囲によって増加) の現地調査が必要となるため、広域を対象とする場合、多くの現地調査結果が必要となる。算出した任意範囲の ha 材積を小班単位等で集計することにより、広域の材積分布を把握することができ、素材生産計画を検討する際の基礎情報として活用することができる。

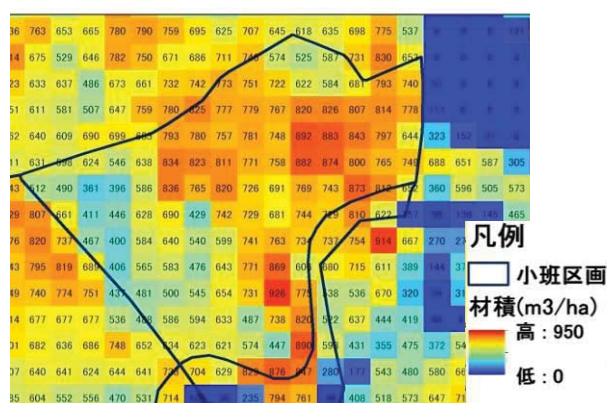


図 2-6 エリアベース解析による材積分布図作成事例

(木曽地区ほか航空レーザ測量解析業務【中部森林管理局】)

表 2-3 エリアベース解析で取得できるデータ

データ整備単位	取得データ
10m×10m 等のメッシュ	平均樹高、ha 材積
小班等 (メッシュ情報の集計)	平均樹高、ha 材積

c) 単木解析

レーザ計測データを活用して、単木単位で材積を推定する方法である。大きく航空機や UAV により上空からレーザ計測を行う方法と設置型レーザ機器等により林内でレーザ計測を行う二つの方法に分けることができる。

航空機や UAV によるレーザ解析では樹冠の凹凸情報から樹頂点の抽出を行い、単木ごとの樹高と樹冠情報 (大きさ等) を取得し、これらと現地調査で得られた胸高直径から回帰式を作成することで、毎木の胸高直径を推定する。そして、樹高と推定した胸高直径に二

変数材積式を適用することで単木材積を推定する。単木情報を小班単位等で集計し、地形情報と併せて分析することで、広域の森林評価（ゾーニング）に活用できる。単木解析には計測密度 4 点/m²以上のレーザ計測データが必要な点については留意する必要がある。なお、胸高直径の推定に使用する回帰式を作成するには、樹種ごとに現地調査が必要となるため、エリアベース解析と同様に広域を対象とする場合、多くの調査地点が必要となる。また、航空レーザ、UAV レーザの単木解析は針葉樹を対象にした方法であることから、広葉樹の材積分布についてはエリアベース解析で実施することが多い。

一方、地上レーザは、林内からレーザを照射し、樹幹の形状を捉えることで、単木の情報を取得する。航空機や UAV によるレーザ解析で得られる情報のほか、航空レーザや UAV レーザでは取得困難な樹幹の曲がりや下層植生の情報まで取得できる。このように、曲がりを含めた詳細な資源情報を取得できることから、材の品質を踏まえた素材販売計画の立案等に活用することができる。一方、計測時に地上から踏査する必要があるため広域の計測には不向きである。

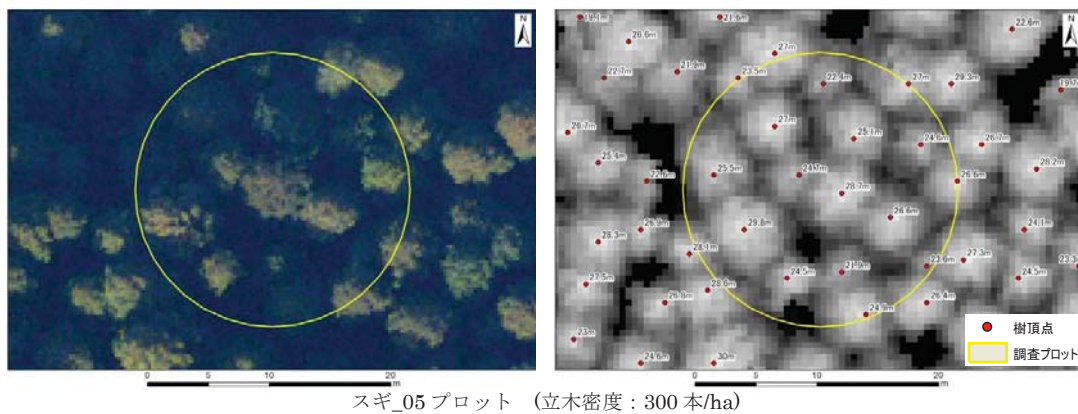


図 2-7 単木解析の実施事例

(航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】)

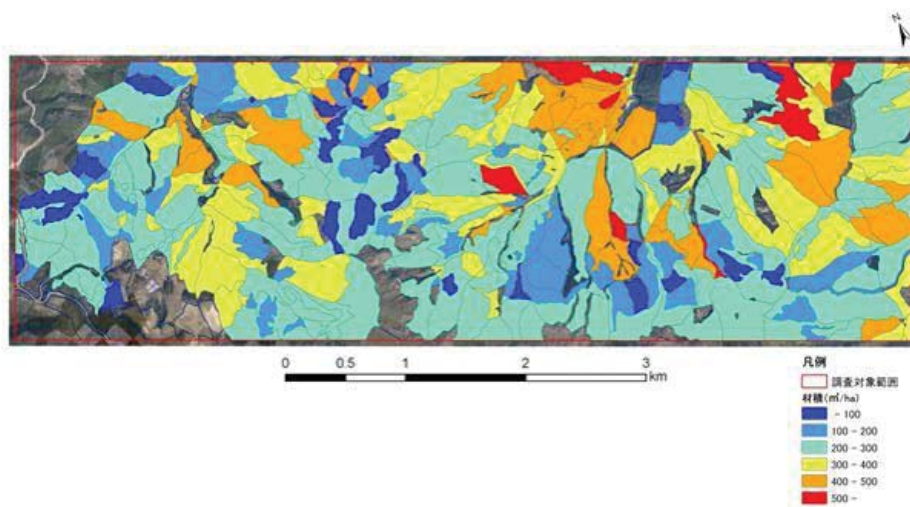


図 2-8 小班単位材積区分図の作成事例

(航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】)

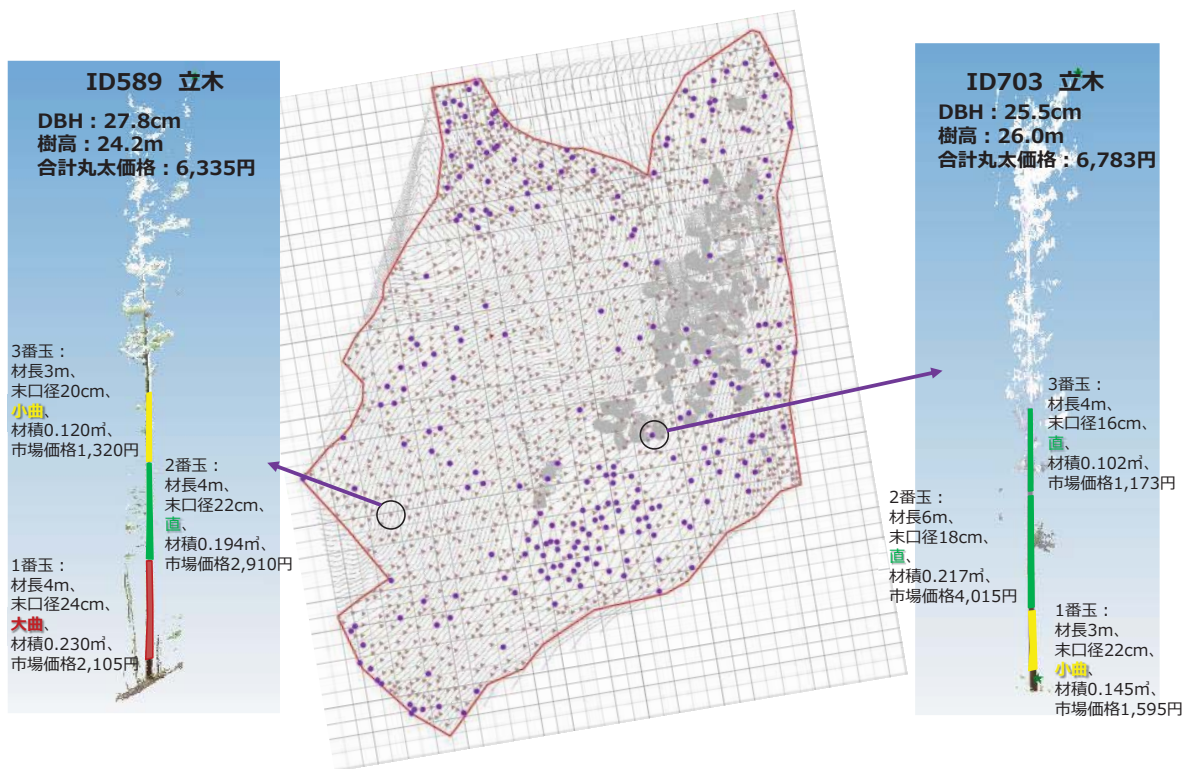


図 2-9 地上レーザによる単木樹木情報管理イメージ (Digital Forest)

表 2-4 単木解析で取得できるデータ

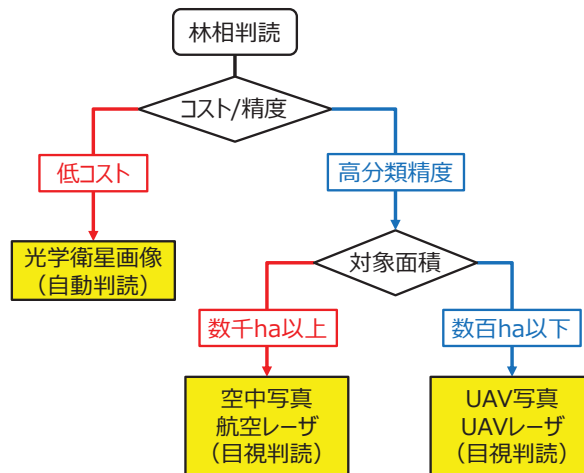
データ整備単位	取得データ	
	航空・UAV レーザ	地上レーザ
単木	立木位置、樹高、胸高直径、材積、樹冠長、形状比	立木位置、樹高、胸高直径、材積、樹冠長、形状比、曲がり
小班等 (単木情報の集計)	立木本数、立木密度、平均樹高、平均胸高直径、合計材積、ha 材積、収量比数、相対幹距比、形状比	

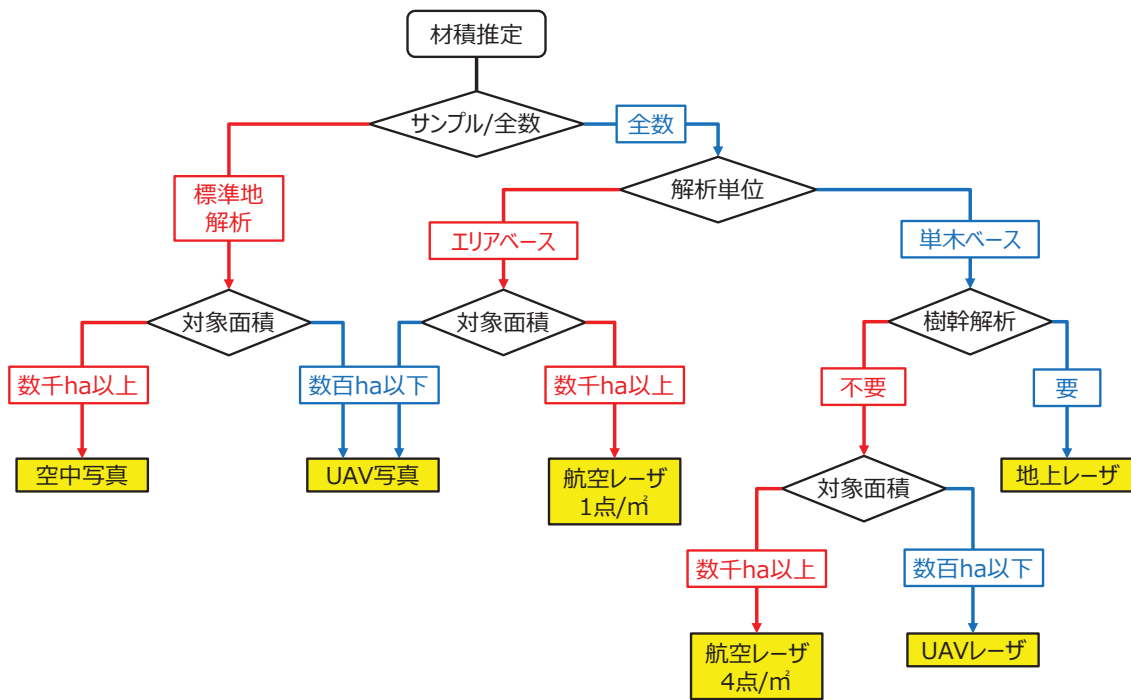
2.1.2 リモートセンシング技術の選定フロー及びとりまとめテーブル

森林資源量の調査を目的としたリモートセンシング技術の選定では、図 2-10 のフローを指針とする。

林相判読を目的とした場合、初めに低コストか高分類精度かを選択し、次に対象面積で技術を選択する。高分類精度かつ対象面積が数千 ha 以上を選んだ場合は、空中写真と航空レーザが選択候補となる。空中写真または航空レーザを選択するにあたっては、材積推定、既設路網の把握、森林境界の明確化等、その他の利用目的を考慮することになる。

材積推定を目的とした場合、初めに資源情報の把握方法としてサンプル調査または全数調査を選択する。サンプル調査は目視判読により、標準地の資源情報を把握し、全体を推定する方法となる。全数調査については、解析単位でエリアベース解析または単木解析を選択する。さらに、単木解析においては樹幹の曲がり情報まで必要となる場合は地上レーザが選択され、樹幹情報が不要な場合は面積に応じて航空レーザ（計測密度 4 点/m²）または UAV レーザが選択される。





リモートセンシング技術	参照ページ
光学衛星画像	3. 光学衛星画像 P29
空中写真	4. 空中写真 P37
航空レーザ (4点/m ²)	5. 航空レーザ P43
航空レーザ (1点/m ²)	5. 航空レーザ P43
UAV写真	6. UAV写真 P50
UAVレーザ	7. UAVレーザ P59
地上レーザ	8. 地上レーザ P63

図 2-10 森林資源量の調査を目的としたセンサ選定フロー

森林資源量の調査に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-5 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-5 森林資源量の調査ととりまとめテーブル


評価項目	現地調査	光学衛星画像	空中写真		航空レーザー		UAV写真	UAVレーザー	地上レーザー
			空中写真 オルソ画像	立体視	計測密度 1点/m ²	計測密度 4点/m ² 以上			
適用面積	○			○			○	○	○
	○			○			○	○	○
				○			○	○	
		○		○					
		○		○					
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/m ²	計測密度 4点/m ² 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/m ² ~100点/m ² (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザー機器設置間隔 10~20m
活用方法		林相判読	林相判読	林相判読 林分情報把握 (標準地解折)	林相判読 林分情報把握 (エリアベース解折)	林相判読 単木情報把握 (単木解折)	林相判読 林分情報把握 (エリアベース解折)	林相判読 単木情報把握 (単木解折)	単木情報把握 (単木解折)
森林調査	○			○			○	○	○
	○			○			○	○	○
	○							○	○
	○			○				○	○
	○			○				○	○
	○							○	○
	○							○	○
	○							○	○
	○			○				○	○
	○							○	○
導入コスト		-	-	-	-	-	15万円~200万円	3,000万円	200万円~1,000万円
		-	-	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 ~1,600円/空中写真1枚 (搭載データ作成費用)	-	-	-	-	247,000円/ha (計測+解折)

2.2 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成

2.2.1 調査方法

路網業務においてリモートセンシング技術を活用する場合、目的（既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成）により使用するデータ、ソフトウェアが異なる。

表 2-6 各路網解析方法に対応するリモートセンシング技術

	対象面積	地形情報	既設路網把握	新たな路網開設計画の作成
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		○	○	○

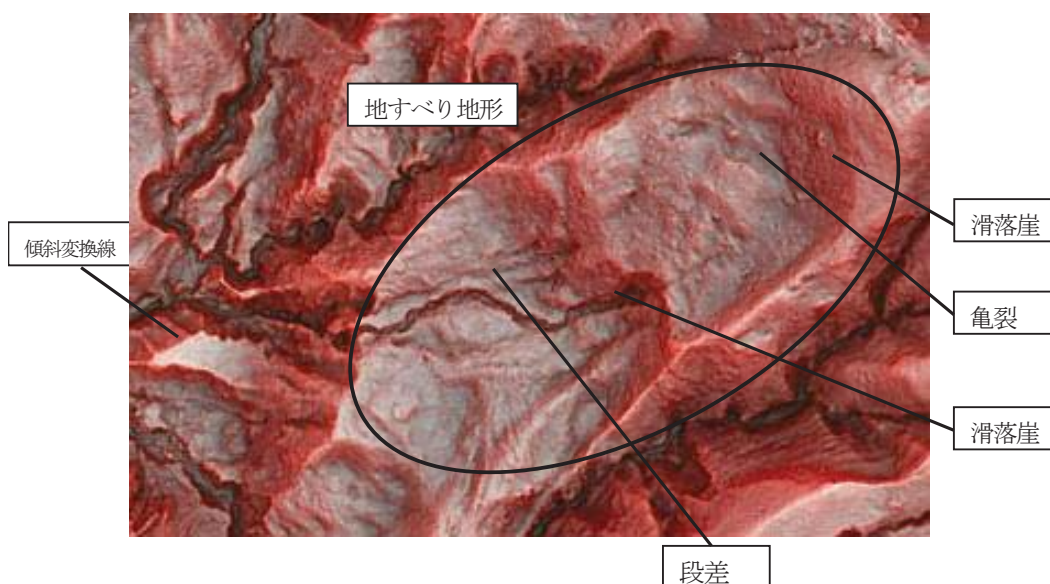
A) 地形情報

地盤高を基に地形の変化を明瞭に表現した「微地形表現図[※]」を作成し、目視判読により地形情報を把握する。微地形表現図は表現方法や作成方法により CS 立体図[※]、赤色立体地図[※]、陰陽図[※]等、多くの種類が存在するが、利用用途に大きな差はない。従来は等高線図や空中写真を用いて地形判読[※]を行ってきたが、判読者に経験と高度な技術が要求されるため、より容易に地形を判読するための方法として開発された。

微地形表現図の利用により、急傾斜地や緩傾斜地が判読できるほか、既設路網の抽出や崩壊地・地すべり地の抽出を行うことができる。また、微地形表現図のうち長野県林業総合センターが開発した「CS 立体図」は作成方法が一般に公開されており、地盤高が用意できる場合は各ユーザーが無料で作成することもできる。

作成した微地形表現図の活用方法として、タブレット等の端末の専用アプリで表示して現地調査の効率化を図ることができる。なお、森林域ではインターネットが繋がらない可能性が高いことから、端末の GNSS を基に現在位置を表示する機能が求められる。

□赤色立体地図



□赤色立体地図（既設の治山施設が読み取れる）

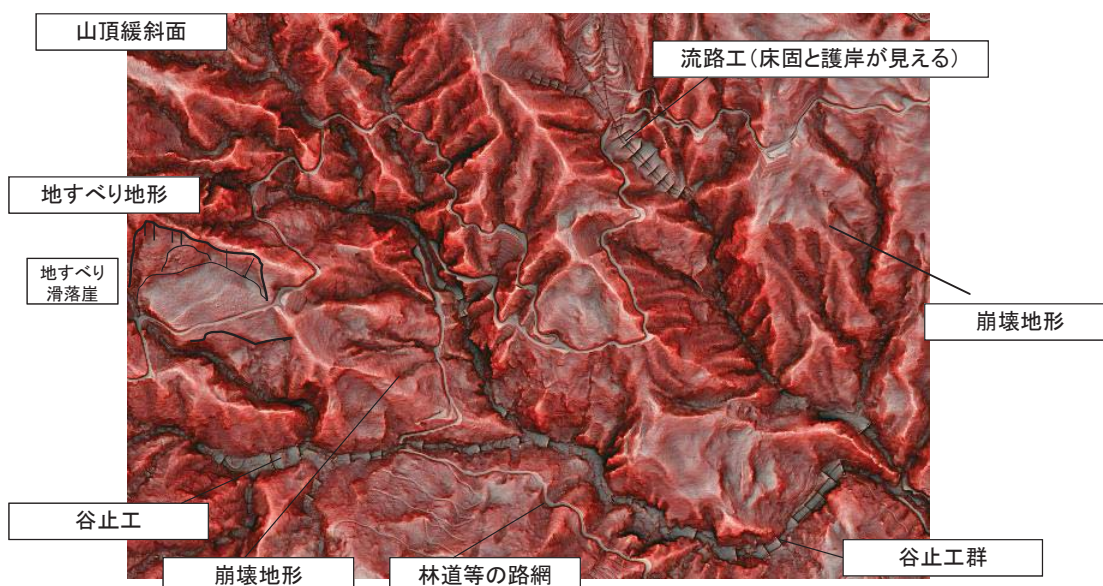


図 2-11 微地形表現図の作成事例

(平成 23 年度 リモートセンシング技術を活用した森林現況調査業務【九州森林管理局】)

B) 既設路網の把握

既設路網の把握を目的とする場合、用いるリモートセンシング技術は樹木下の地盤を計測することのできる航空レーザ、UAV レーザ、地上レーザ等のレーザ計測に限られる。レーザデータより取得した地盤高から、起伏を強調した微地形表現図を作成し、GIS※ビューアーに表示することで、既設路網の抽出、把握を目視により行うことができる。なお抽出できる路網のサイズは使用するレーザデータの計測密度に左右され、幅員 3m 以上の路網抽出には 1 点/m²のレーザデータ (1m メッシュの地盤高) が、幅員 1.5m 以上の路網抽出には 4 点/m²のレーザデータ (0.5m メッシュの地盤高) が必要となる。1.5m 程度の施設が識別できることから、過去

に整備した用水路等の配置も把握可能であり、記憶に頼っていた施設情報を把握できるため、土地所有に関して情報を補足的に取得することもできる。

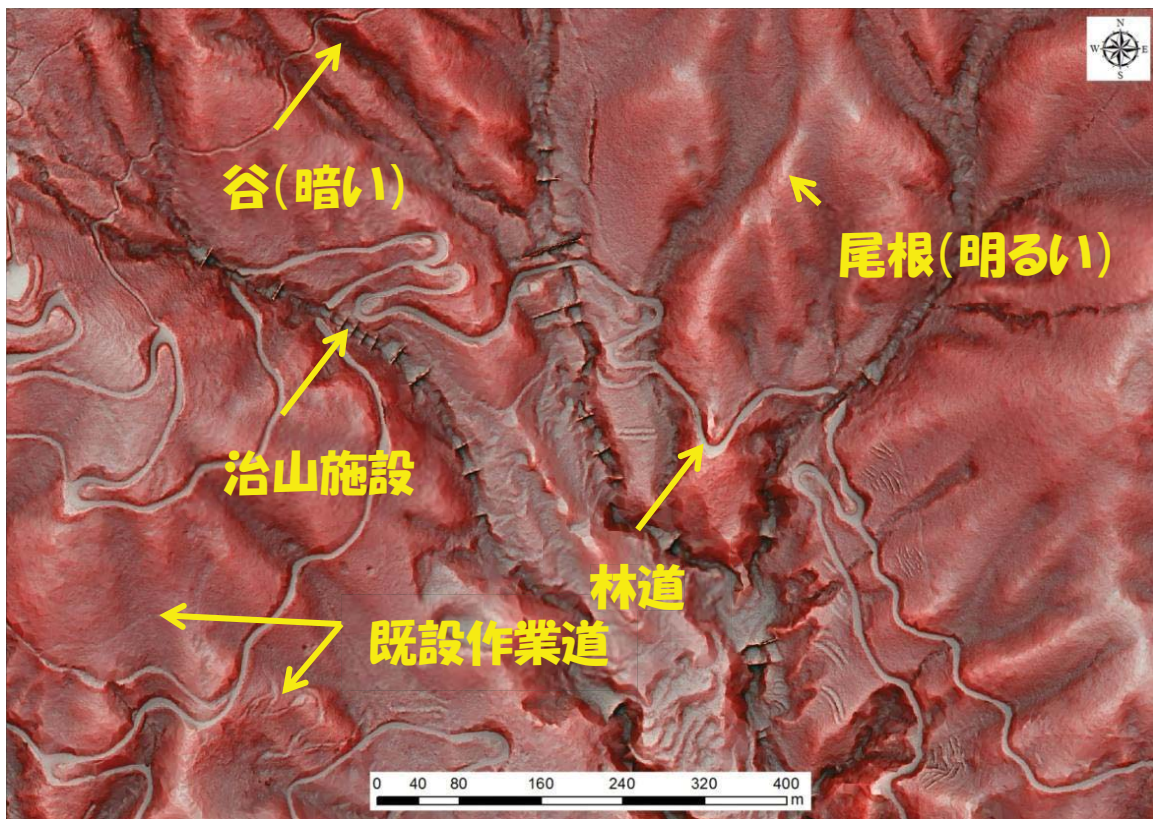


図 2-12 既設路網の把握イメージ (4 点/m²のレーザデータを使用)

C) 新たな路網開設計画の作成

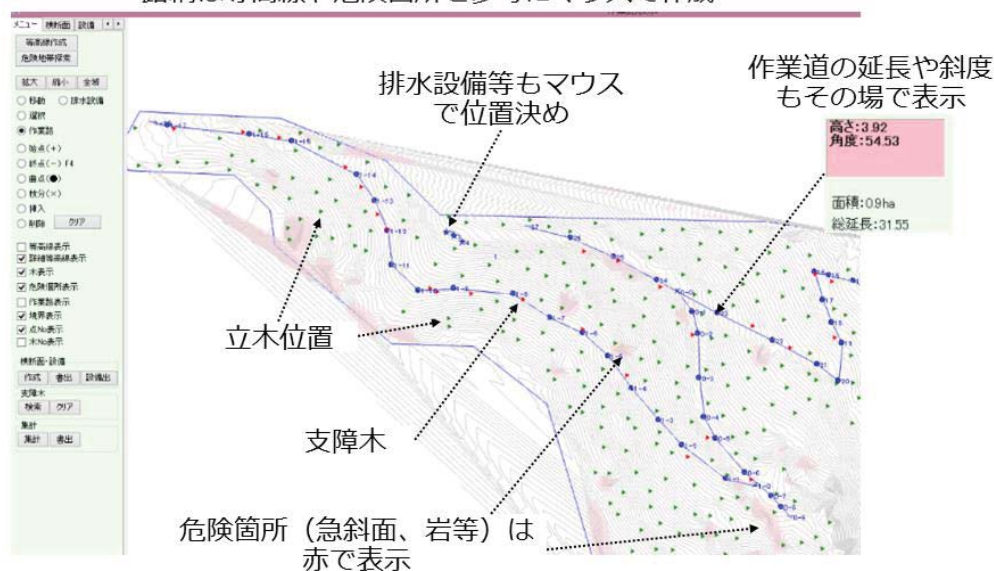
新たな路網開設計画の作成にレーザ計測より取得した地盤高を活用する場合、等高線よりも正確な標高を把握でき、傾斜度や路線の比高等の計算が正確になるとともに、現地調査を行わなくとも机上で切土、盛土等の土工量を計算することができる。また、微地形表現図やオルソ画像[※]を併用することで、集水地形等の地形判読を行いながら、危険な箇所を避けて路網を設計することもできる。これらの解析を汎用的なソフトウェアで行う場合には GIS 等の専門的な知識が必要となるが、専門のソフトウェアを活用すれば効率的に解析することができる。

ただし、航空レーザや UAV といった上空から観測した地盤高を利用する場合、実際に路網が開設できるか現地調査を行い林内の詳細な状況（露岩や湧水状況等）を確認する必要がある。一方、地上レーザを使用した場合、レーザ計測と併せて現地の状況確認を行うことができるため、現地調査を省力化することができる。

路網設計シミュレーション



効率的に伐採・集材するための路網設計シミュレーション
路網は等高線や危険箇所を参考にマウスで作成



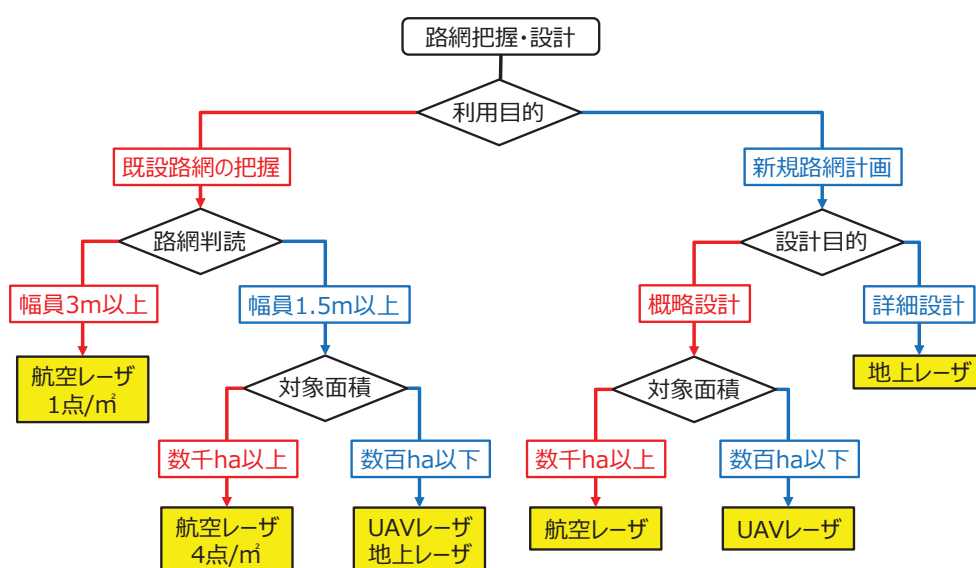
©2011-2017 woodinfo. ALL RIGHTS RESERVED.

図 2-13 地上レーザでの路網設計シミュレーションイメージ (Digital Forest)

2.2.2 リモートセンシング技術び選定フロー及びとりまとめテーブル

既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成を目的としたリモートセンシング技術の選定は、図 2-14 のフローを指針とする。

初めに既設路網の把握または新規路網の設計かを選択する。既設路網の把握は、現地調査の省力化や路網から近い林業適地の選定等を目的として実施する。また、新規路網計画は地盤高を基に等高線図や微地形表現図を作成し、既設の路網を把握した上で、路網作成支援ソフトを使用して路網を計画する。新設路網の計画を行う場合、航空レーザの計測密度は1点/m²以上あることが望ましい。なお、樹冠に覆われた林内の詳細な地形情報や既設路網の情報を取得するためには、レーザ計測データが必要となる。このため、既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成を目的とする場合には、空中写真等の光学センサを選定フローに含めていない。



リモートセンシング技術	参照ページ
航空レーザ (4点/m ²)	5. 航空レーザ P43
航空レーザ (1点/m ²)	5. 航空レーザ P43
UAV レーザ	7. UAV レーザ P59
地上レーザ	8. 地上レーザ P63

図 2-14 路網計画を目的としたセンサ選定フロー

既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-7 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-7 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成とりまとめテーブル

評価項目		現地調査	航空レーザ		UAVレーザ	地上レーザ
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			計測密度 1点/m ²	計測密度 4点/m ² 以上	計測密度 20点/m ² ～100点/m ² (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			幅員3.0m以上の 既設路網の把握	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画
地形情報	等高線図		○	○	○	○
	微地形表現図		○	○	○	○
	既設路網		○	○	○	○
	幅員1.5m以上の路網抽出			○	○	○
	幅員3.0m以上の路網抽出		○	○	○	○
設計精度	概略設計		○	○	○	○
	詳細設計					○
導入コスト	計測機器		-	-	3,000万円～	200万円～1,000万円
	解析ソフト		-	-	-	～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		-	2,500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)

2.3 森林境界の明確化

2.3.1 調査方法

森林境界を明確化するための方法として、林相や地形、アーカイブデータの活用が考えられる。

表 2-8 各境界確認方法に対応するリモートセンシング技術

	対象面積	林相による境界明確化	地形による境界明確化	アーカイブデータによる境界明確化	境界杭等の計測
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			○		○

※△：詳細な地形情報の取得は困難

A) 林相による境界明確化

森林の境界が林相により区分されている場合には、オルソ画像や樹高分布図を活用した目視判読により森林境界を推定することができる。また、単木が判読可能な画像の解像度がある場合は目印となる所有界の境界木や境界に対して列状に植栽された樹木を確認することもできる。なお、地上レーザは単木レベルで樹種は特定できるものの、広域に適用して、境界の明確化を行う事例は少ないことから、林相による境界明確化には含めていない。

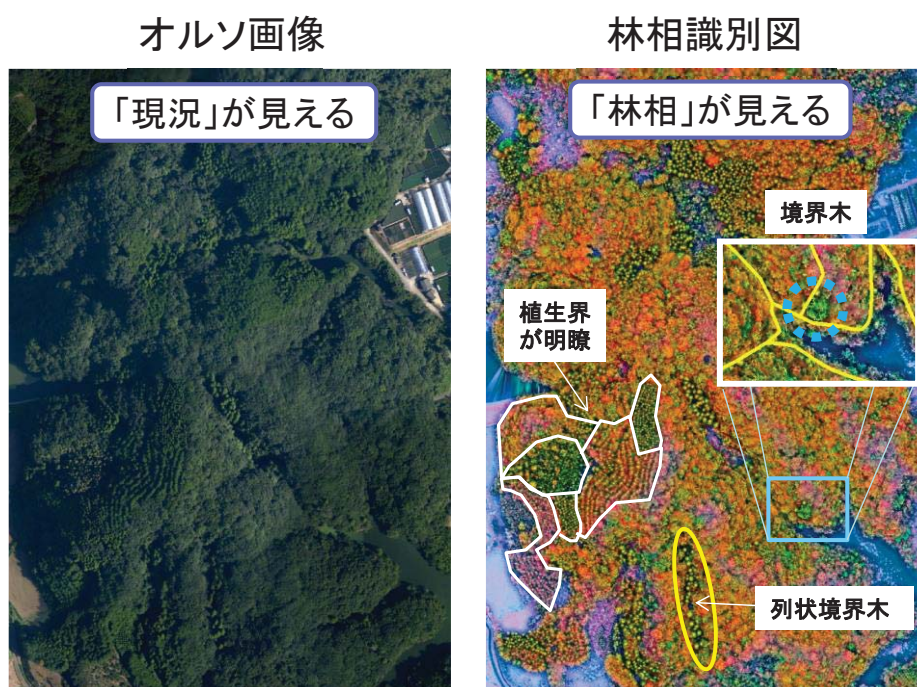


図 2-15 林相による境界明確化事例

B) 地形による境界明確化

路網や尾根や谷等の地形が森林境界になっている場合には、地盤高より起伏等の地形を強調した微地形表現図を活用した目視判読により境界を推定することができる。また、尾根や谷等の大まかな地形については、空中写真を立体視することでも把握することができる。

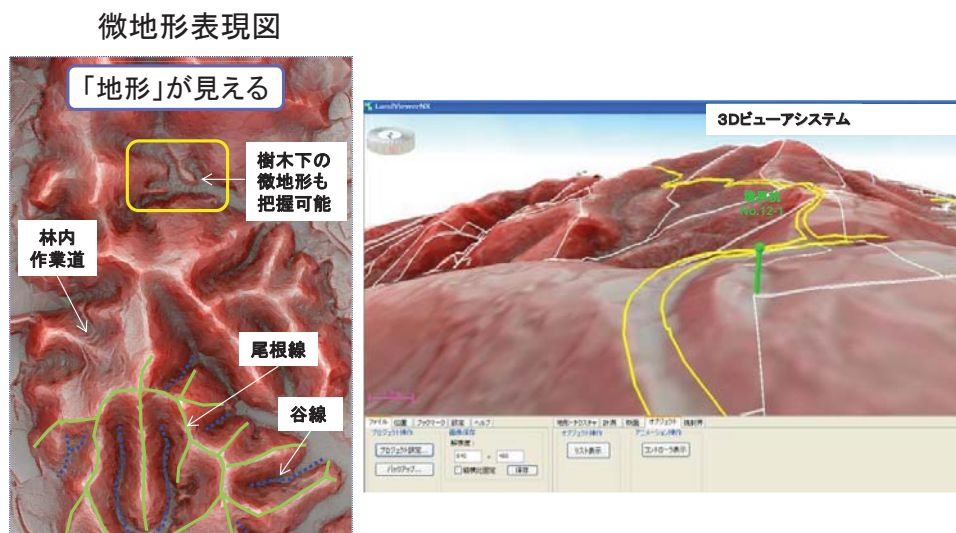


図 2-16 地形による境界明確化

C) アーカイブデータによる境界明確化

森林は伐採、植栽、保育を行う場合は、所有者単位で行うことが想定されることから、複数時期のアーカイブデータが存在する場合には施業履歴を確認することで森林境界を推定できる場合がある。また、境界情報である公図等が作成された時期と同じ時期のアーカイブデータがある場合には、森林境界を決めた当時の状況を推定できる可能性がある。光学衛星画像や空中写真はアーカイブデータが豊富に存在するため、森林境界の明確化に役立つ可能性が高い。ただし、過去に撮影されたデータを用いるため画像の解像度は粗くなる場合があり、最新のリモートセンシング技術との併用が効果的である。

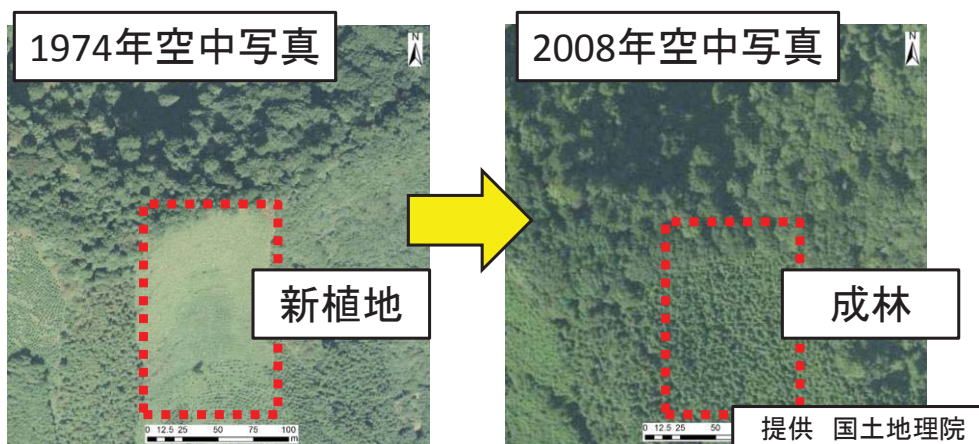


図 2-17 アーカイブデータによる境界明確化

D) 境界杭等の計測

UAV レーザや地上レーザにより反射材をつけた境界杭の計測を行うことができる。境界杭の位置を境界木等の周囲の状況と同時に計測し、計測結果を可視化することで境界情報をわかりやすく示すことができる。可視化した情報を森林 GIS 等で管理することにより、境界杭の再確認を行う際の現地調査を効率的に実施するための有効な情報となる。また、UAV 写真は崖地等のアクセスが困難な箇所の境界杭の点検等にも活用することができる。

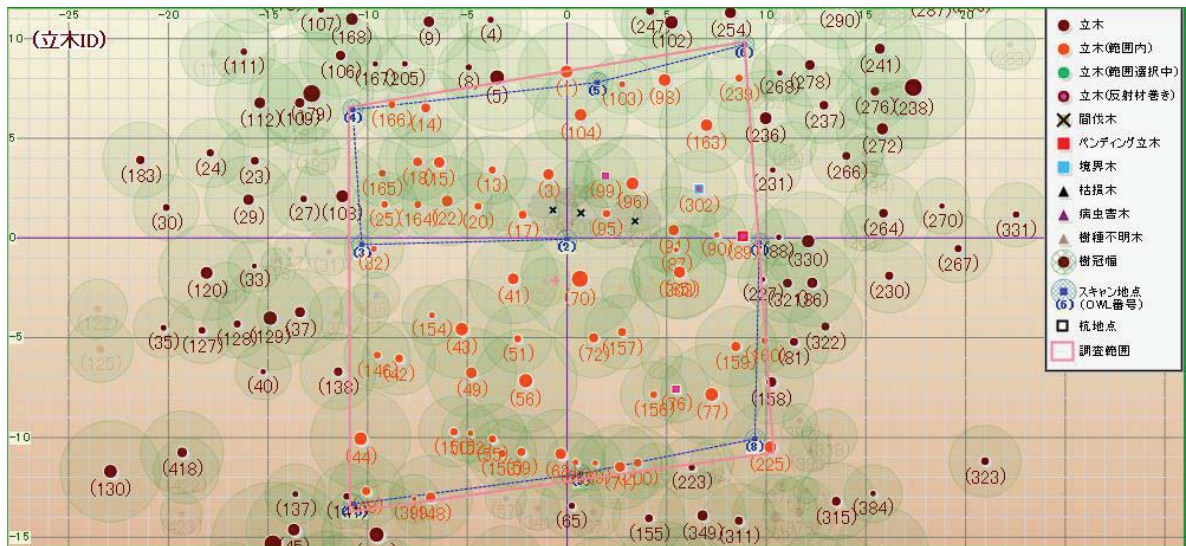
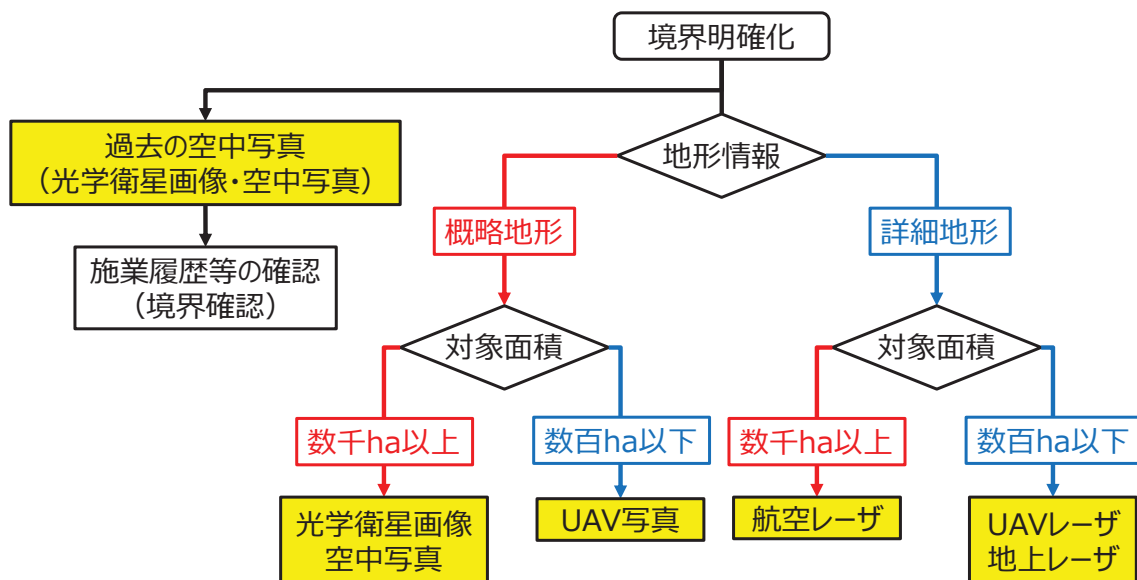


図 2-18 境界杭と立木の位置図イメージ (OWLManager)

2.3.2 リモートセンシング技術の選定フロー及びとりまとめテーブル

森林境界の明確化を目的としたリモートセンシング技術の選定では、図 2-19 のフローを指針とする。

森林境界の明確化において過去の施業履歴等から境界の確認を行う場合は、アーカイブデータが利用できる。施業年度前後の光学衛星画像や空中写真を取得することで、明確に施業箇所を特定することができるが、施業年度以降の画像だけでも皆伐地等は施業箇所を特定できる。次に地形情報の精度により分岐する。光学センサでは林冠に覆われた林床の詳細な微地形は識別することができず、尾根や谷の大まかな地形情報のみの識別となる。一方で、レーザセンサは尾根や谷の地形情報だけでなく、斜面の細かな凹凸まで識別できる情報を取得することができる。必要とする地形情報を選択した上で、対象とする面積で技術を選定する。なお、森林境界の明確化で重要となる林相（地上レーザの場合は樹種）の情報は各技術で取得することができるため、フローには各技術の林相情報は含めていない。



リモートセンシング技術	参照ページ
光学衛星画像	3. 光学衛星画像 P29
空中写真	4. 空中写真 P37
航空レーザ	5. 航空レーザ P43
UAV 写真	6. UAV 写真 P50
UAV レーザ	7. UAV レーザ P59
地上レーザ	8. 地上レーザ P63

図 2-19 境界明確化を目的としたセンサ選定フロー

森林境界の明確化に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-9 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-9 森林境界の明確化ととりまとめテーブル

評価項目	現地調査	光学衛星画像	空中写真		航空レーザー		UAV写真	UAVレーザー	地上レーザー
			空中写真 オルソ画像	立体視	計測密度 1点/m	計測密度 4点/m以上			
適用 面積	○			○			○		○
	○			○			○		○
				○			○		○
				○					
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/m	計測密度 4点/m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/m~100点/m (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザー機器設置間隔 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
樹種 調査		○	○	○	○	○	○	○	
樹高									
等高線図									
概略地形情報		○	○	○	○	○	○	○	○
微地形表現図									
境界杭の調査	○								
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		2~100円/ha	300円/ha	30,000円+1,000 ~1,600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)
※ヒアリング結果平均値 詳細は手引き72p以降を 参照									

3. 光学衛星画像

メリット

- 自動分類により、林相区分図を作成することができる
- 林相が森林境界となっている場合は画像上で確認することができる
- 膨大なアーカイブデータが存在し、同箇所でも複数の撮影が行われているため、経年変化を把握することができる
- 航空機よりも広範囲のデータを取得することができる
- 画像の単位面積当たりの取得単価が安い

デメリット

- 雲の影響により林相判読が困難な場合がある
- 地形によって影が生じる可能性がある
- アーカイブデータを主に利用するため、業務範囲全域を同時期の画像で整備できない場合がある

3.1 技術的特徴

我が国では、高度 400～1,000km の軌道上から、1～30 日周期で衛星による地上観測が行われており、今現在も観測が行われている。画像の解像度^{*}は 0.3m～数十 m と幅広い。光学衛星センサは太陽光が地上で反射した可視光線や近赤外線^{*}を観測する（図 3-1）。衛星の種類によって異なるが、面積当たりの単価は空中写真と比べ安いことが多いことから、広範囲の解析の際に多く採用されている。また、異なる時期に同じ箇所を撮影した画像が多く蓄積されているため、経年変化を把握するためのデータとして利用される場合もある。

光学衛星画像^{*}の利用目的としては林相判読が挙げられることが多い。林相判読フローの一例を図 3-2 に示す。まず、オリジナルの光学衛星画像は十分な位置精度を持っていない場合があり、幾何補正^{*}（ベースとなる地図と位置を合わせる作業）やオルソ補正（標高も含めた三次元情報を用いて写真のゆがみを補正する作業）により、位置情報の精度を向上させる必要がある。また、光学衛星画像は観測対象物と衛星との距離が長く、大気中に存在する粒子の影響を受けているため、この影響を取り除く大気補正も行う必要がある。光学衛星画像によっては幾何補正、オルソ補正、大気補正済の光学衛星画像を販売している場合もあるため、補正済みの画像を購入することを推奨する。また、画像の選定にあたってはポインティング角（衛星センサの撮影方向）にも注意する必要がある。ポインティング角が大きくなることで、画像の倒れ込みが顕著になり、特に倒れ込んだ裏側の斜面の情報が得にくく、幾何補正やオルソ補正済みの画像にゆがみが大きくなる。このため、ポインティング角が 20 度未満の画像を選ぶことが望ましい。

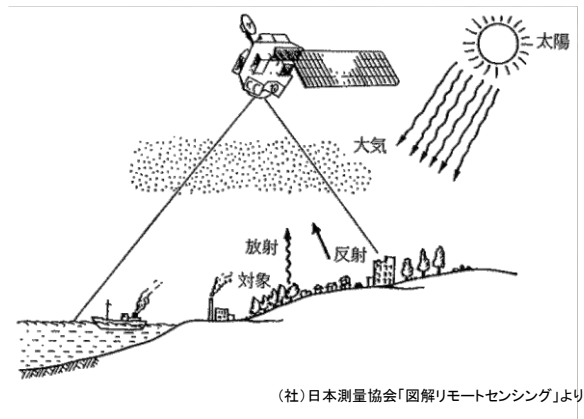


図 3-1 光学衛星画像撮影のイメージ

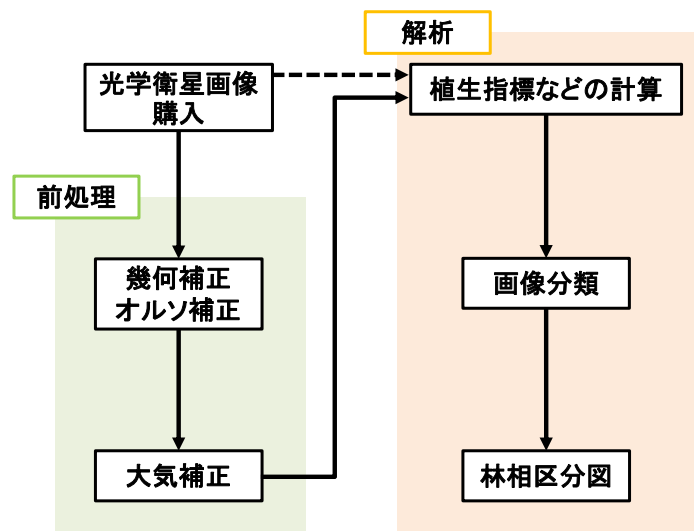


図 3-2 光学衛星画像による林相解析フロー

また、光学衛星画像による林相区分図を作成する過程で取得できるデータを表 3-1 に示す。

表 3-1 光学衛星画像から取得できるデータ

データ	概要
衛星画像	観測された各波長帯の輝度※値（ピクセル※（画素）値）を色調情報（赤緑青等）に割り当てて、植生の状況を把握できる画像。幾何補正、オルソ補正や大気補正により取得時の情報から作業や色調が若干変わる。
植生指標	赤や近赤外線※の波長帯の輝度値を使って、植生の識別に有効な指標を計算した画像。グレースケール（黒～白）で表現できる画像である。
林相区分図	衛星画像の各波長帯の輝度値や植生指標等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。

光学衛星画像の解像度により利用される調査項目が異なるため、解像度ごとに調査項目をまとめ、対応する光学衛星を示した表を表 3-2 に示す。

表 3-2 光学衛星画像の解像度による調査項目

解像度	調査項目	対応する光学衛星
2.5m	林相判読（自動判読） 林相による境界明確化 アーカイブデータによる境界明確化	ALOS, SPOT6,7
1.0m	地形による境界明確化（概略）	Quick Bird, Pleiades, Skysat, ALOS-3
0.5m	林相判読（目視判読）	World View2,3,4 GeoEye-1, ASNARO-1

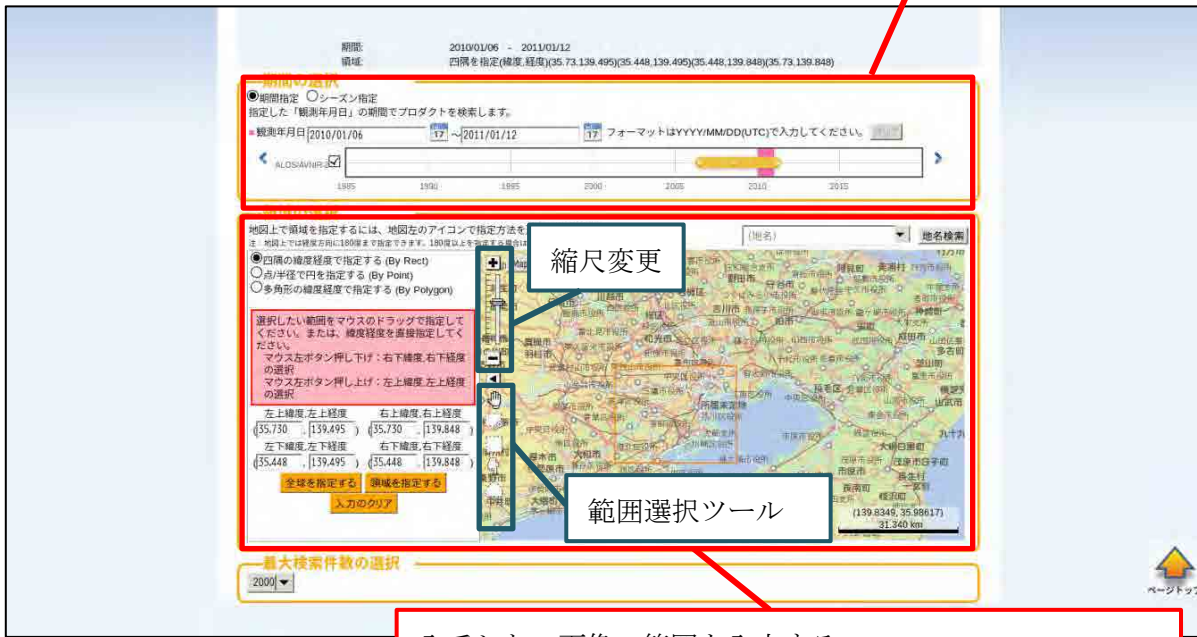
3.2 データ取得方法

光学衛星画像のアーカイブデータは各種サイトで検索することができ、検索した画像の ID を販売代理店に伝えることで購入できる。参考として ALOS 画像の検索フローを紹介する。

- ALOS 画像

G-Portal にて検索 (<https://www.gportal.jaxa.jp/gp/top.html>)





入手したい画像の範囲を入力する。
 範囲の指定方法は以下の三種類

- ① 入手したい画像の範囲を四隅の緯度経度より指定
- ② 入手したい画像の範囲を円で指定
- ③ 入手したい画像の範囲を多角形ポリゴンにより指定

以下は「オーダ完了」までのSTEPです。水色のステップをクリックすると、設定画面へ移動できます。

STEP1 衛星センサを選ぶ STEP2 プロダクトを選ぶ STEP3 期間と領域を選ぶ STEP4 検索結果をみる STEP5 マイリストをみる STEP6 オーダを作る STEP7 オーダ完了

STEP4: 検索が完了しました。

以下の条件で検索しました。

衛星/センサ: ALOS/AVNIR-2

プロダクト: 可視・近赤外

領域: 四隅を指定(緯度,経度)(35.73,139.495)
(35.448,139.848)(35.448,139.848)
(35.73,139.848)

プロダクトの領域を確認する 表示のクリア

画像の範囲を確認

検索結果一覧 (プロダクト数: 131件)

DSV出力 KML保存

リスト表示 サムネイル表示

サンプル画像を表示

No.	プロダクト	衛星センサ名	観測開始日時	観測終了日時	詳細情報
1	可視・近赤外	ALOS/AVNIR-2	2010/01/07 01:16:47	-	
2	可視・近赤外	ALOS/AVNIR-2	2010/01/15 12:47:51	-	

サムネイル表示

画像の詳細情報を表示

衛星名/センサ名	ALOS/AVNIR-2
センサ運用モード	OBS
観測開始日時(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
観測終了日時(UTC)	-
シーンID	ALAV2A1239
衛星方向	Ascending
バス番号	392
中心フレーム	760
ポインティング角(deg)	0.0
雲量(%)	0
シーン開始時刻(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
シーン左上角(緯度 経度)(deg)	140.52 37.967
シーン右上角(緯度 経度)(deg)	141.311 38.116
シーンセンタ時刻(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
シーンセンタ(緯度,経度)(deg)	37.735 141.007
シーン左下角(緯度 経度)(deg)	140.706 37.354
シーン右下角(緯度 経度)(deg)	141.491 37.503
ライン欠損数	0
総合品質コード	Good

衛星の撮影角度 (ポインティング角)

画像の中で雲が占める割合

- 代表的な販売代理店
 - ① 一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC)
 - 【問い合わせ部署】 ソリューション事業部
 - 【問い合わせ電話番号】 03-6435-6789
 - 【問い合わせアドレス】 data@restec.or.jp

 - ② 日本スペースイメージング株式会社 (JSI)
 - 【問い合わせ部署】 営業本部 営業第一部
 - 【問い合わせ電話番号】 03-5204-2714
 - 【問い合わせアドレス】 sales-g1@jsicorp.jp

3.3 代表的な機器

機器名	所属	運用 期間	解像度		カラー画像価格(解像度) ※オルソ補正済み	最低購入面積
			マルチ	パン クロ		
ALOS (だいち)	宇宙航空研究 開発機構 (JAXA)	2006-2011	10m	2.5m	5000 円/シーン(2.5m) 2018 年度に無償提供予定	4900 km ² (70km × 70km)
ALOS3		2020- (予定)	3.2m	0.8m	未定	未定
ASNARO-1	パスコ	2014-	2m	0.5m	-	-
GeoEye-1	DigitalGlobe (アメリカ)	2008-	1.64m	0.41m	6000 円/km ² (0.5m)	25 km ²
IKONOS		1999-2015	0.82m	3.3m	2,200~5,300 円/km ²	25 km ²
Pleiades	CNES	2011-	0.7m	2.8m	2,400 円/km ² (パンクロ)	25 km ²
Quick Bird-2	DigitalGlobe (アメリカ)	2001-2015	0.81m	2.44m	3,000 円/km ²	25 km ²
Rapid Eye	Planet Labs (アメリカ)	2008-	6.5m	×	260 円/km ² (5m) ※LEVEL 3A(オルソ補正) 280 円/km ² (5m) ※LEVEL 3B(高精度オルソ 補正)	4,000 km ²
SkySat	TeraBella	2013-	0.9m	2.0m	1,300 円/km ²	50 km ²
SPOT4	フランス国立 宇宙研究センター (フランス)	1998-2013	20m	10m	110 円/km ² (20m) 140 円/km ² (10m)	3,600 km ² (100 km ²) (1.5m 画像のみ)
SPOT5		2002-2015	10m	2.5m	230 円/km ² (5m)	
SPOT6,7		2012-	6m	1.5m	350 円/km ² (2.5m) 560 円/km ² (1.5m)	
THEOS	GISTDA(タイ)	2008-	15m	2.0m	155 円/km ² (パンクロ) 9.3 円/km ² (マルチ)	484 km ² (22km × 22km)
WorldView-2	DigitalGlobe (アメリカ)	2009-	1.84m	0.46m	6,000 円/km ² (0.5m) 7,700 円/km ² (0.4m)	25 km ²
WorldView-3		2014-	1.24m	0.31m	※0.3m 画像は WorldView-3,4 のみ	
WorldView-4		2016-	1.24m	0.31m	9,000 円/km ² (0.3m)	

※解像度は最小値を示す。

マルチは『マルチスペクトル※』、パンクロは『パンクロマティック※』の略。

4. 空中写真

メリット

- 目視判読により高精度な林相区分図を作成することができる
- アーカイブデータが豊富なため、撮影当時の施業状況等を把握することができる
- 林相やアーカイブデータを基とした境界確認に活用することができる
- 立体視^{*}による標準地解析を行い、簡易に材積推定できる
- 航空レーザ^{*}と比べてデータの取得費用が安価

デメリット

- 撮影時刻や地形によっては影が生じる可能性がある
- 詳細な地形情報を取得することができない
- 材積推定の精度が航空レーザと比較して低い
- 単木レベルの資源量の把握には適していない

4.1 技術的特徴

航空機に航空測量用カメラを搭載し、地表を撮影することで画像を取得する。一般的には可視光線（赤色波長、緑色波長、青色波長）で構成されているが、近年では非可視光線である近赤外線^{*}波長帯が観測可能な機種も存在する。日本では1961年から全国の空中写真がおよそ5年間隔で撮影されている。基本的に平地・離島地域では国土地理院が、山岳地域では林野庁が都道府県と分担して撮影を行っている。当初はアナログ写真が主流であったが、2007年頃からデジタル写真が多く使われるようになってきた。

主な利用目的は林相把握や立体視を用いた材積推定である。解析フローの一例を図4-2に示す。撮影した写真は位置情報を持たない画像であることから、オルソ補正により位置情報を持つオルソ画像^{*}を作成する。オルソ画像の作成には専用のソフトが必要となるため、オルソ補正済みの画像を入手することを推奨する。オルソ画像を活用して林相の境界を目視判読することで、林相区分図を作成する。目視判読はQGISやArcGIS、TNTmips等のGIS^{*}ソフト上で実施することができる。なお、一般的にオルソ画像を作成するためには、オリジナルの空中写真及び撮影時の情報（外部標定要素^{*}・内部標定要素^{*}・撮影記録）が必要となる。

立体視を目的としている場合はオルソ補正されていない空中写真（解像度^{*}は30cm以下が望ましい）と撮影時の情報である外部標定要素が必要となる。立体視ソフトによるサンプル解析により小班ごとの立木密度・平均樹高を算出し、林分密度管理図^{*}に当てはめて対象小班の材積を算出する。上記の作業は専門的知識がなくとも森林立体視ソフト（「もりったい」等）により、解析することができる。空中写真により表層高^{*}は求められるものの、詳細な地盤高^{*}は取得できないことから、樹冠高^{*}を求めるためにはアーカイブの地盤高の利用が必要となる。なお、評定した表層高の高さ精度が不十分な場合には、結果として樹冠高が不正確な情報となることから、樹冠高の精度を向上させるためには、GCP^{*}を用いて表層高の高さを調整する必要がある。

空中写真から取得できるデータを表4-1に、精度についてとりまとめた結果を表4-2に示す。

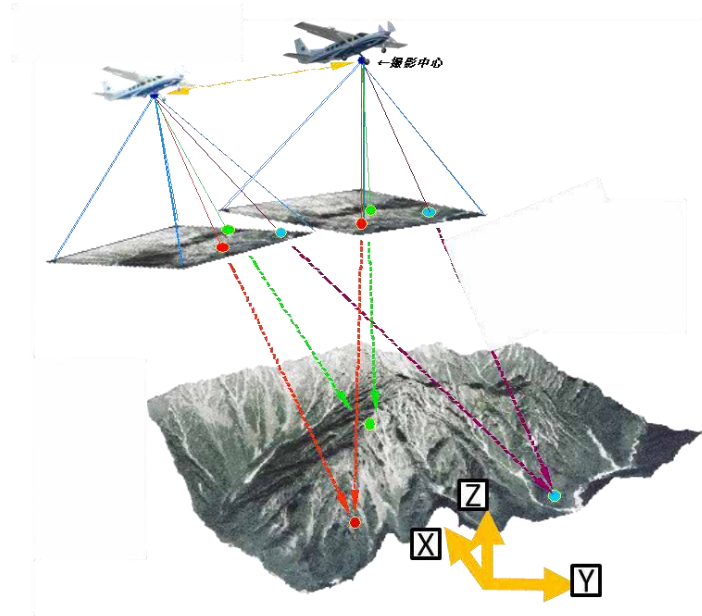


図 4-1 空中写真の計測イメージ

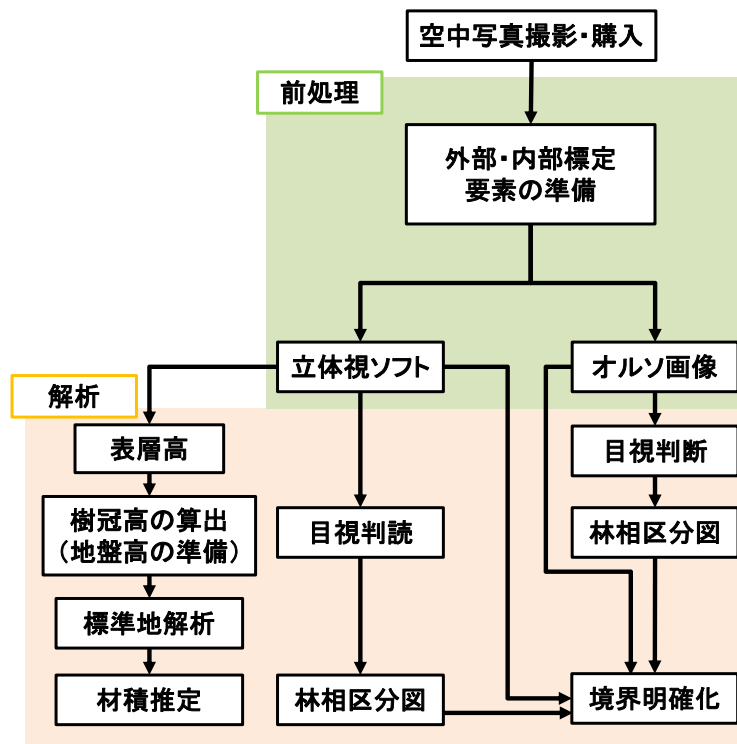


図 4-2 空中写真を用いたデータ解析フロー

表 4-1 空中写真から取得できるデータ

データ	概要
空中写真	地表を撮影した画像。近年ではデジタル写真が主流。立体視により標準地の立木本数や樹高を計測するための情報。
オルソ画像	倒れ込みのある空中写真を補正した画像。地物の位置情報が正確であるため、図化等に用いる。
林相区分図	空中写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。
標準地解析結果	立体視により標準地の立木本数と樹高を計測した後に林分密度管理図 [※] から材積を算出した森林資源情報。
材積推定	標準地データを小班等の森林管理単位に適用し、広域の材積分布を推定した情報。

表 4-2 空中写真により取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	針葉樹は約 7 割、広葉樹は約 8 割の分類精度 (オブジェクトベース分類 [※] による結果の場合)
地形データ	取得できない
被圧木	把握できない
本数	平均誤差率 16.6% (立体視による目視判読と現地調査との比較)
樹高	平均誤差率 11.9% (立体視による目視判読 (1m メッシュ地盤高使用) と現地調査との比較)
胸高直径	把握できない
材積	平均誤差率 21.0% (立体視による目視判読 (本数と樹高) からの計算値と現地調査との比較)
曲がり	把握できない
画像位置精度	30cm 程度

※出典：「平成 24 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業」報告書より

4.2 データ検索方法

日本では日本全土の空中写真撮影が複数回に渡って行われており、豊富なアーカイブデータが存在する。過去の空中写真を利用することで経費を削減できるほか、二時期の空中写真を比較することで、植栽当時の状況等の施業履歴等実施記録を基とした森林境界を確認する際の資料とすることができる。

4.2.1 林野庁撮影（山岳を主とする地域）

① 標定図の入手

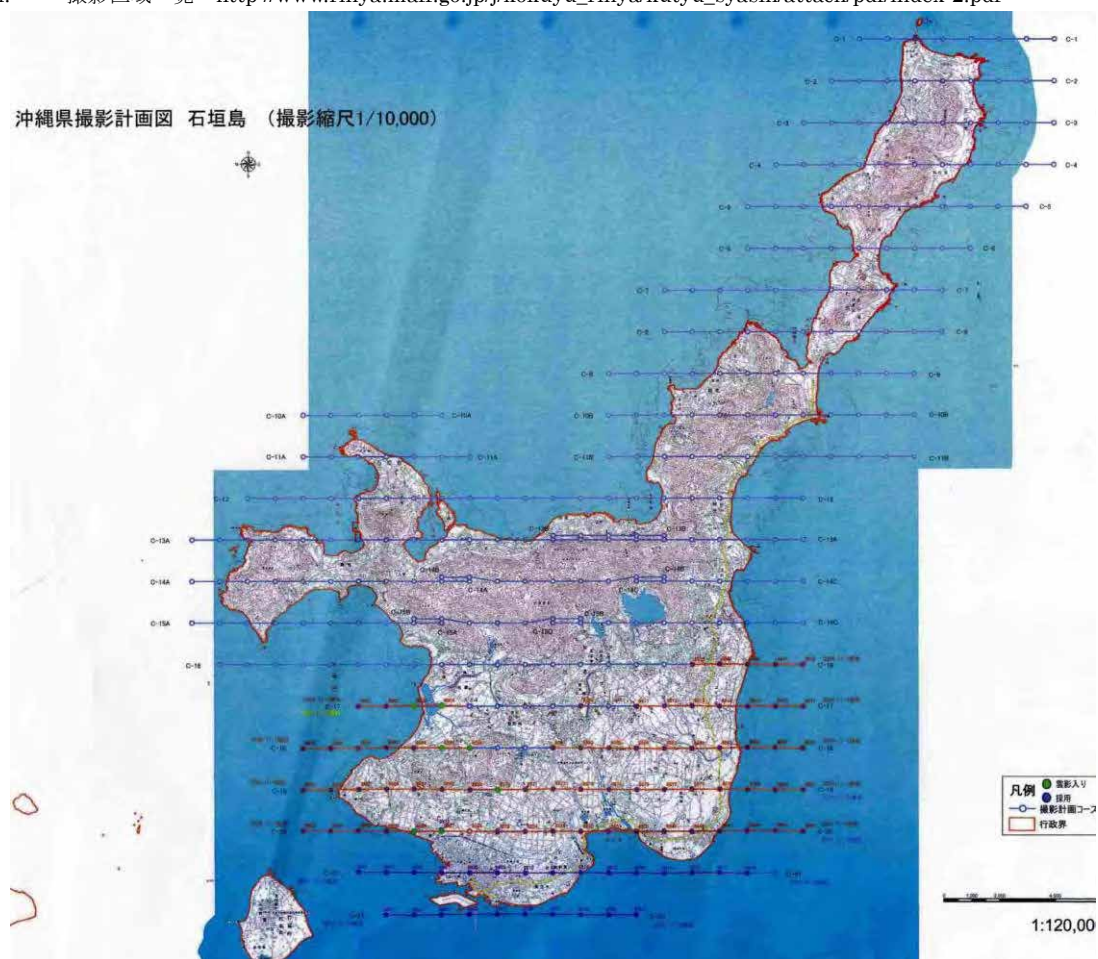
林野庁の撮影一覧図よりデータが必要な区域を特定し、林野庁から管理を委託されている管理委託業者に問い合わせることで対象地域周辺の撮影における標定図*を入手する。標定図とは、「撮影コース」「撮影ポイント」等を地図上に表記した写真である。

② 使用する空中写真の確定

標定図を判読し、必要な画像のコース番号、撮影番号を入手する。

林野庁撮影一覧図

- | | | |
|------|--------|---|
| i. | 北海道 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-3.pdf |
| ii. | 東北 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-6.pdf |
| iii. | 関東・中部 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-5.pdf |
| iv. | 近畿 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-7.pdf |
| v. | 中国・四国 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-1.pdf |
| vi. | 九州 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-4.pdf |
| vii. | 撮影区域一覧 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-2.pdf |



日本地図センターHP より <http://www.jmc.or.jp/photohtz/minkan/3624/362441/01.jpg>

4.2.2 国土地理院撮影（平地周辺地域・離島）

撮影時期

撮影範囲

空中写真にチェック


検査結果

プレビュー


No.	作成・撮影年	分類	取用
1	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
2	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
3	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
4	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
5	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
6	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
7	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
8	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
9	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>
10	20150501年 27	空中写真カラー	<input type="checkbox"/>

※空中写真（非オルソ処理）は1枚4,000円程度で購入可能である。購入の際には、オプションで入手形態を「デジタルデータ」に、カラー区分では「カラー」を選択して購入すること。外部標定要素（撮影情報）を入手する際には、購入後日本地図センター（03-3485-5416）に連絡し、画像を購入した旨と外部標定要素の提供を依頼する必要がある。


4.3 代表的な機器

機器名	RCD30	
会社名	Leica Geosystems	
イメージサイズ	10,320×7,752pixels	
ピクセル※サイズ	5.2μm	
スペクトル等カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	


参照 : <https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>

機器名	UltraCam-Xp w/a	
会社名	Microsoft	
イメージサイズ	17,310×11,310pixels	
ピクセルサイズ	6μm	
スペクトル等カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	

参照 : <https://www.geoshop.hu/images/static/UltraCamXpwa-Specs-0709.pdf>

機器名	DMC II 230	
会社名	Z/I イメージング	
イメージサイズ	12,096×11,200pixels	
ピクセルサイズ	7.2μm	
スペクトル等カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	

参照 : http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p18-19.pdf

機器名	Penta DigiCAM	
会社名	IGI	
イメージサイズ	11,608×8,708pixels	
ピクセルサイズ	4.6μm	
スペクトル等カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能 斜め画像を含む五方向の画像を同時に取得することが可能	

参照 : <http://www.igi-systems.com/penta-digicam.html>

5. 航空レーザ

メリット

- 計測密度が 4 点/m²以上であれば、単木解析による材積推定ができる
- 計測密度が 1 点/m²以上であれば、エリアベース解析による材積推定ができる
- 樹冠下の詳細な地形情報を表現した微地形表現図^{*}を作成することで、従来の図面ではできなかった詳細な地形把握を行うことができる
- 詳細な地形情報を活用することで、路網の把握や設計を行うことができる
- 広範囲を効率的に計測でき、地形情報・森林情報を同時に取得することができる
- レーザ計測と同時に空中写真を撮影することができる

デメリット

- レーザ計測によるデータ整備が遅れており、アーカイブデータは限られている
- 単木解析では上層を形成していない被圧木を計測することはできない
- 空中写真と比較して面積当たりの計測単価が高い

5.1 技術的特徴

航空レーザ^{*}は、固定翼や回転翼といった航空機にレーザ測距装置、GNSS^{*}、IMU 装置^{*}、画像撮影装置を搭載し、レーザ光を発射して地表から反射し戻ってくる時間を測ることで航空機と地表の距離を計測する。レーザ計測の照射パルス^{*}のビーム径（フットプリント）は地上に近づくにつれて大きくなり、樹木がある程度繁茂していても、林床に光が到達することと同様にレーザビームはギャップを通り、樹冠下の地形情報を取得できることが最大の特徴である。また、航空レーザでは空中写真の撮影を同時に行うため、空中写真の解析を併せて行うことができる。

航空レーザの主な目的は森林情報、地形情報の取得であるが、レーザ計測密度によって取得できるデータが異なるため解析フローも異なる。計測密度 1 点/m²のレーザデータによる解析フローの一例を図 5-2 に、計測密度 4 点/m²のレーザデータによる解析フローの一例を図 5-3 に示す。

森林解析の場合、1 点/m²データ、4 点/m²データに共通する作業としてレーザデータの前処理を行う。レーザデータから森林の表層高^{*}と地盤高^{*}を取得し、その差分を取ることで森林の高さデータである樹冠高^{*}を作成する。作成した樹冠高が 1m メッシュ^{*}の場合（1 点/m²データ）はエリアベース解析（p.11）による材積推定を、0.5m メッシュの場合（4 点/m²データ）は単木解析（p.11）による材積推定を行う。

地形解析の場合、前処理において作成した地盤高を用いて起伏や斜面傾斜等を強調し地形をわかりやすく表現した「微地形表現図（p.17）」を作成する。作成した微地形表現図を GIS^{*}上に表示することで、既設路網や地形を基に森林境界を作図することができる。また、4 点/m²のレーザデータであれば、路網作成支援ソフトで、新規の路網設計を行うことができる。前処理の工程は専門的な知識と、ソフトが必要であるが、既設路網の把握、新規路網の設計、地形を基とした森林境界の明確化等の解析は必要なデータ・ソフトがあれば、自ら行うことができる。

航空レーザで取得できるデータを表 5-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 5-2 に示す。



図 5-1 航空レーザーの計測イメージ

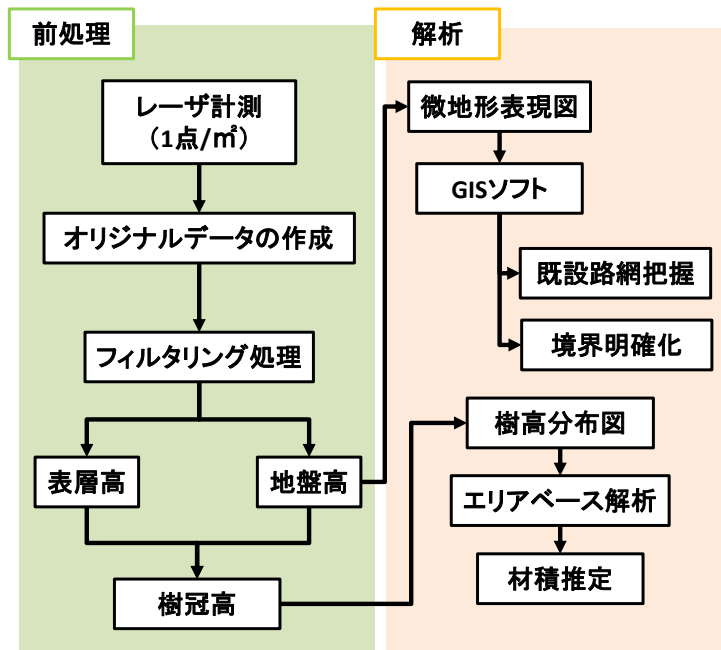


図 5-2 1点/m²密度のレーザーデータによる解析フロー

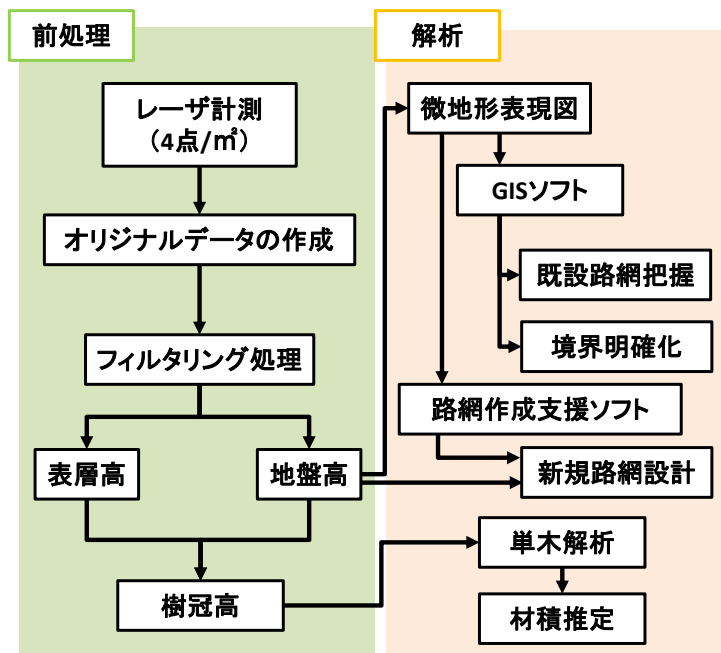


図 5-3 4 点/m²密度のレーザデータによる解析フロー

表 5-1 航空レーザから取得できるデータ

データ	概要
空中写真	地表を撮影した画像。航空レーザで計測した地表物を確認するために撮影される
オルソ画像 [※]	空中写真を地表面情報に合わせて位置を補正した写真
林相識別図 [※]	航空レーザで得られた反射強度や樹冠高等を基にして、樹種の識別が容易にできる画像
林相区分図	空中写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される
地盤高	0.5m等のメッシュサイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
樹高分布図	任意のメッシュサイズで樹冠高データの最大値を計算し、樹高を表す図
単木資源情報	樹冠の凹凸情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積等の情報を毎木で整備した GIS [※] 情報
材積推定	小班等の森林管理単位でエリアベース材積や単木情報を集計し、広域の材積分布が把握できる情報

表 5-2 航空レーザ（4 点/m²）により取得した森林情報の精度

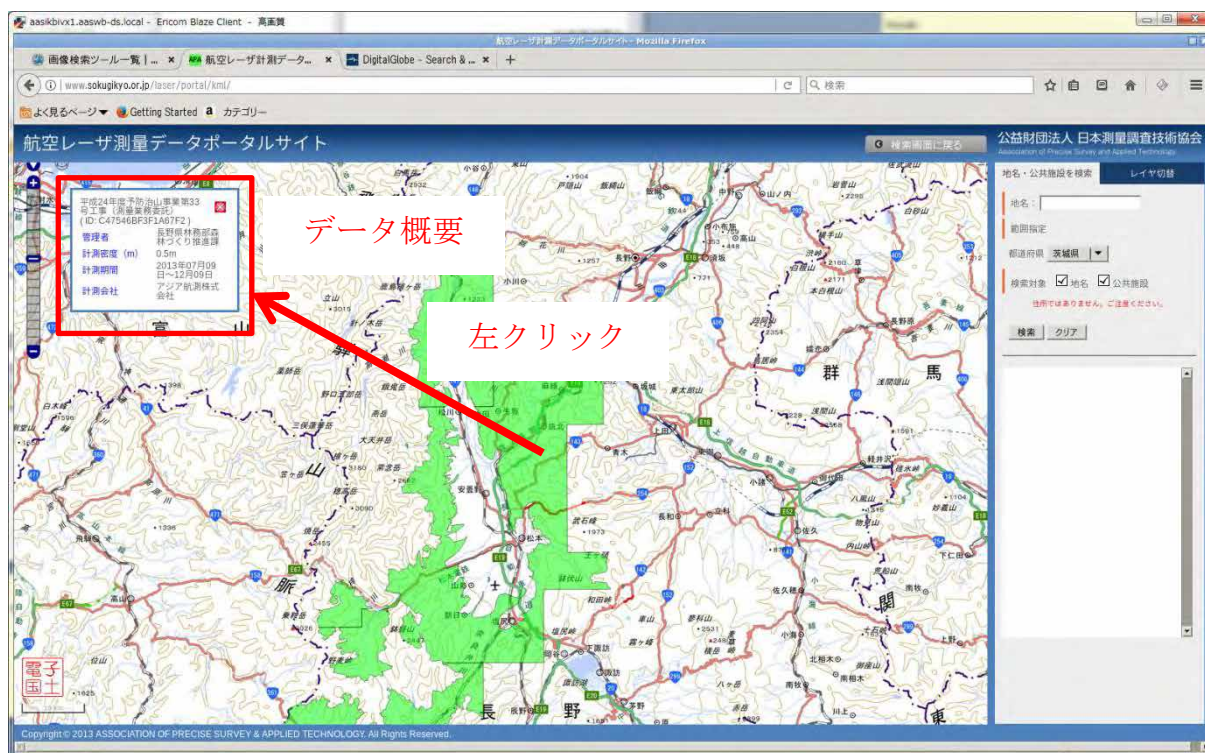
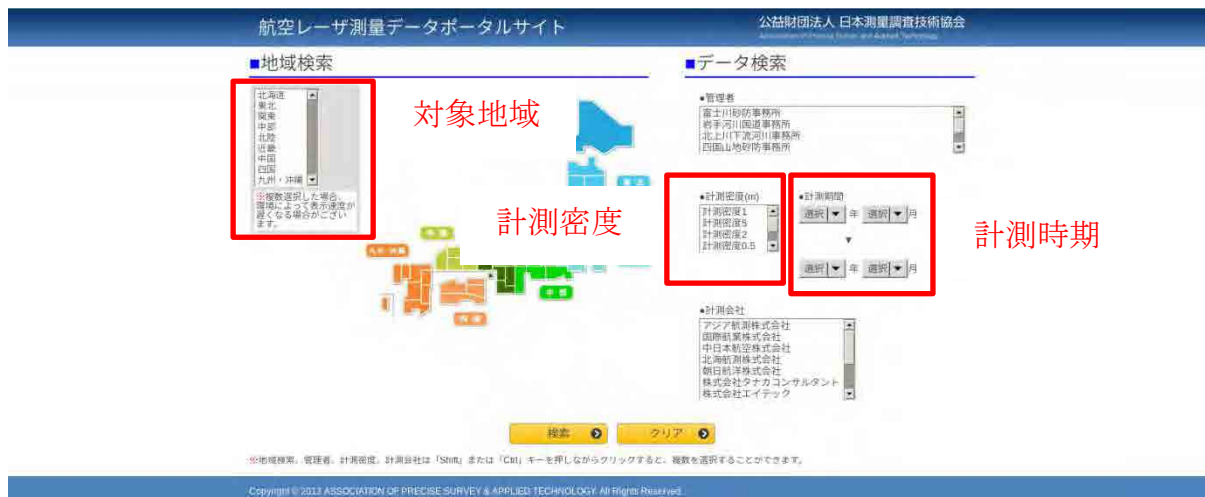
項目	精度
樹種	空中写真の他、航空レーザの反射強度を利用した林相区分図も活用することができるため、空中写真のみの場合よりも精度は向上する
地形データ	0.5m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できない
本数	針葉樹の場合、平均誤差率約 10% 広葉樹は計算できない
樹高	針葉樹の場合、平均誤差率約 5~10%
胸高直径	針葉樹の場合、平均誤差率約 15%.（一定範囲の林分において）
材積	針葉樹の場合、平均誤差率約 20% 広葉樹の場合、平均誤差率約 30%
曲がり	把握できない
位置精度	水平位置精度 30~50cm、垂直位置精度 20cm 以内

※出典：複数の導入事例・ヒアリング結果より平準的な数値を示す

5.2 データ取得方法

5.2.1 アーカイブデータ

過去に公共測量によって取得された航空レーザ測量データは航空レーザ測量データポータルサイト (<http://www.sokugikyo.or.jp/laser/portal/>) で確認することができる。航空レーザ測量データポータルサイトでは、計測範囲や計測密度等が検索可能である。



5.2.2 新規データ

外部委託により新規計測する場合、対象範囲と計測点密度に注意する必要がある。

(1) 「対象範囲」

航空レーザにおいては、図 5-3 に示すとおり「地形データを取得する範囲」と「森林解析の対象範囲」の二つを決める必要がある。森林資源情報の取得のみを目的とする場合、森林区域のみの地形データを計測することで森林解析が可能であるが、搬出等に用いる路網データの整備を行う場合は、森林区域のみではなく、森林の周辺を含めた地形データを取得し、地形解析を行う必要がある。

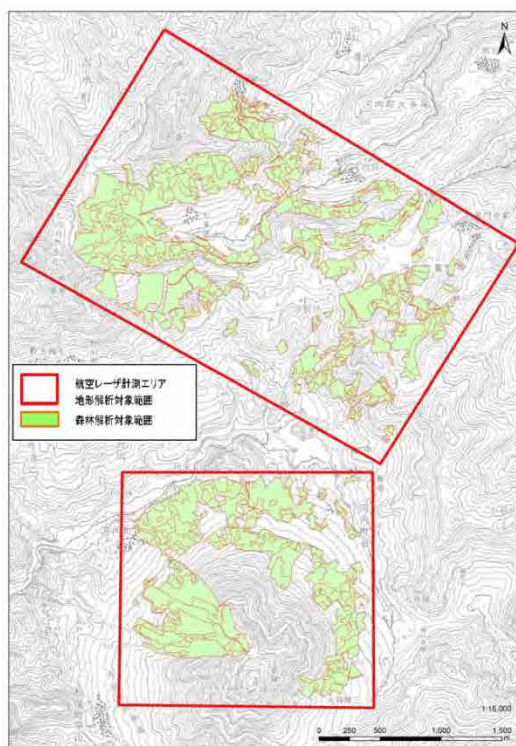



図 5-4 対象範囲の設定事例

(H27 航空レーザによる森林資源等解析業務【熊本県】)


(2) 「計測点密度」

計測点密度と計測対象地の高低差によって、飛行高度、スキャンレート※、パルスレート※、ラップ率※が変化し、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精度が向上するが、計測単価が増加する。なお、単木レベルの森林資源情報を取得するためには計測点密度は 4 点/m²が必要であり、現在森林・林業分野における航空レーザ計測では 4 点/m²以上の密度で計画されることが一般的になってきている。


5.3 代表的な機器

機器名	ALS70-HP	
会社名	Leica Geosystems	
最大測定飛行高度	3,500m	
パルスレート	500kHz	
プラットフォーム	固定翼	


参照 : http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ALS70/brochures/Leica_ALS70_6P_BRO_en.pdf

機器名	ORION M300	
会社名	Optech	
最大測定飛行高度	2,500m	
パルスレート	300kHz	
プラットフォーム	固定翼	

参照 : <https://www.teledyneoptech.com/wp-content/uploads/ORION-M-Specsheet-140624-WEB.pdf>

機器名	LMS-Q780	
会社名	Riegl	
最大測定飛行高度	2,600m	
パルスレート	400kHz	
プラットフォーム	固定翼	

参照 : <http://www.riegl-japan.co.jp/product/airborne/riegl-lms-q780.html>

機器名	Harrier68i	
会社名	Trimble	
最大測定飛行高度	1,600m	
パルスレート	400kHz	
プラットフォーム	回転翼	

参照 : <http://www.digimapas.cl/about/th68i.pdf>

6. UAV 写真

メリット

- 詳細に林相を把握することができる
- 標準地解析とエリアベース解析による材積推定ができる
- 機動性に優れ、高頻度の撮影が可能のため、森林情報の更新に有効な手段となり得る
- 一定水準の技能等を習得することで、自ら安価に高解像度の UAV^{*} 写真を撮得することができる
- SfM^{*} 解析ソフトを利用することで、自らオルソ画像^{*}、三次元点群情報を作成することができる

デメリット

- 広範囲のデータ取得には適していない
- 材積の推定精度が航空レーザ^{*}と比較して低い
- 詳細な地形情報を取得することができない

6.1 技術的特徴

人が遠隔操縦する UAV にカメラを搭載し、地表を撮影することで取得する。事前に設定したルートを実行する機能を持つ機体もあり、機体も年々低価格化が進んでいるため、利用が広がっている。UAV は固定翼と回転翼に分けられる。固定翼は 40~50 分の飛行、広範囲の撮影に適しているが、離発着地として上空が広く開けた空間を要する。一方回転翼は 20~30 分程度の飛行時間であるため固定翼と比べて狭い範囲での撮影となるが、ピンポイント座標での離発着が可能であるため、離発着地の制限が緩和される。

また、UAV で取得した写真を市販のソフトで解析して、オルソ画像を作成することができる。なお、この場合に GCP^{*} や地盤高^{*} 等を基にした画像の補正を行わずに解析することができるが、オルソ画像の位置精度が低く、他時期に撮影した画像との比較の際には位置情報を補正する作業が必要になる可能性が高い。この作業を避けるためには対空標識を設置し、その位置を GNSS^{*} 観測することで、オルソ処理の際に GCP として活用する必要がある。

UAV 写真の利用目的として、数百 ha 以下の小面積における林相把握や材積推定の把握が挙げられる。一度森林資源量を広域的に整備した地区においては、施業等により森林変化が起こった林分を再度撮影し解析することで、最新の森林情報に更新することが可能となる。材積推定の方法としては標準地から全体を推定する標準地法 (p.9) と樹冠高^{*} から材積を把握するエリアベース解析 (p.11) がある。森林解析フローの一例を図 6-2 に示す。UAV 写真は比較的簡単に写真を撮影することができるが、運用にあたっては地盤高が取得できないことや、位置情報の精度向上のためには GCP が必要なこと等に注意する必要がある。また、SfM ソフトで作成される表層高^{*} は UAV の GNSS の精度に影響し、十分な高さ精度を持たず、アーカイブの地盤高を用いて樹冠高を計算した結果、樹冠高の高さが不正確になることがある。このため、アーカイブの地盤高との差分計算を行う際は表層高を GCP で高さ調整することが必要となる。

UAV 写真で取得できるデータを表 6-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 6-2 に示す。

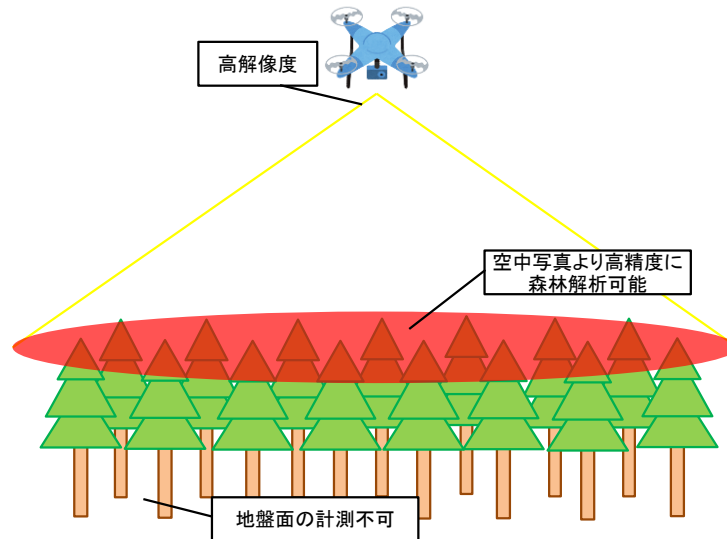


図 6-1 UAV 写真の計測イメージ

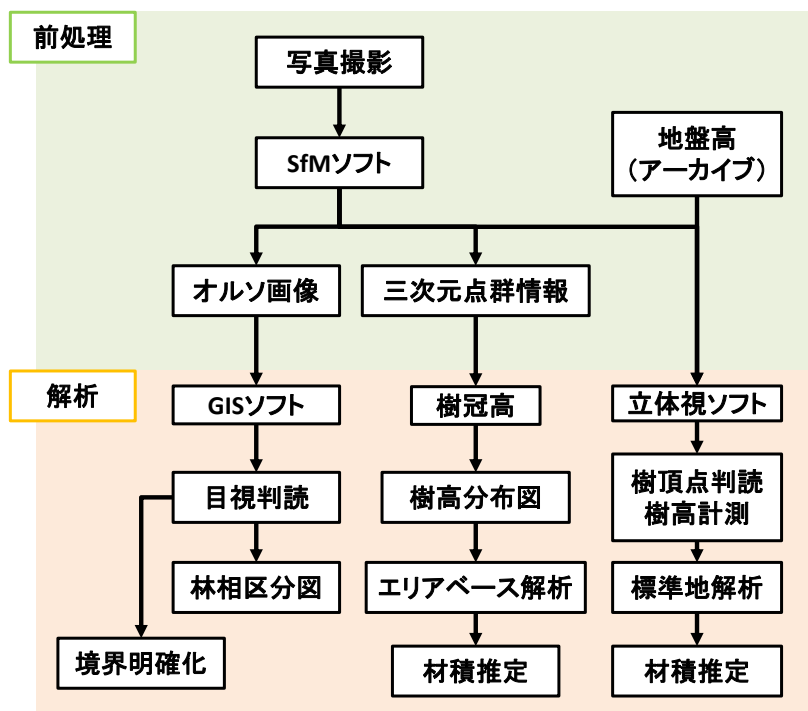


図 6-2 UAV 写真による解析フロー

表 6-1 UAV 写真から取得できるデータ

データ	概要
UAV 写真	地表を撮影した画像。立体視※により標準地の立木本数や樹高情報、及び SfM※ソフトにより三次元情報を作成するための情報
オルソ画像	UAV 写真を地表面情報に合わせて位置を補正した写真
林相区分図	UAV 写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。空中写真に比べて詳細な区分ができる
標準地解析結果	立体視により標準地の立木本数と樹高を計測した後に林分密度管理図※から材積を算出した森林資源情報
樹高分布図	任意のメッシュ※サイズで樹冠高の最大値を計算し、樹高を表す図
材積推定	標準地データやエリアベース材積を小班等の森林管理単位に適用し、広域の材積分布を推定した情報

表 6-2 UAV 写真により取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	高い精度で分類可能（解像度※により変動）
地形データ	取得できない
被圧木	把握できない
本数	目視判読では上層木の識別はほぼ 100% 以下、先行研究事例による参考値 SfM を用いた単木解析では過小になりやすい 対地高度※50m では平均誤差率約 20% 対地高度 100m では平均誤差率約 35%（Phantom4）
樹高	対地高度 50m,100m とともに、平均誤差率約 5%（Phantom4）
胸高直径	以下、先行研究事例による参考値 対地高度 50m,100m とともに、平均誤差率約 10%（Phantom4）
材積	対地高度 50m では平均誤差率約 25% 対地高度 100m では平均誤差率約 40%（Phantom4）
曲がり	把握できない
画像位置精度	GCP なし：10m 程度、GCP あり：10cm 程度

※出典：平成 28 年度森林調査等におけるレーザ計測（航空・地上）活用手法の開発 報告書

6.2 UAV 飛行に関するガイドライン

近年、UAV が急速に普及し、趣味やビジネスを目的とした利用者が急増している。「空の産業革命」とも言われ、新たな産業創出の機会の増加が期待されている。リモートセンシングの分野でも新プラットフォームとして注目され、さまざまなセンサを搭載する等、その利用および研究開発が盛んに実施されている。

一方、UAV が飛行することで、有人航空機の安全が損なわれることや、地上の人や建物・車両等に危害が及ぶことはあってはならない。このため、改定航空法（平成 27 年法律第 67 号）では、UAV の飛行に関する基本的なルールが定められている。

以下に、UAV を飛行させるにあたっての遵守すべき法律・規制及び習得すべき知識や技能についてまとめる。

6.2.1 遵守すべき法律・規制

1. 遵守すべき法律・規制

(1) 航空法（国土交通省）

無人航空機を安全に飛行させるための条項が追加されている。

① 無人航空機の定義

「人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの（機体総重量が 200g 以上のもの）」

② 飛行に関する規定

無人航空機を飛行させる際には、飛行する場所と飛行させる方法について以下のように規定されている。

・飛行禁止区域

空港等の周辺（進入表面等）の上空、人口集中地区（DID : Densely Inhabited District）および 150m 以上の高さの空域では原則飛行は禁止されている。

・飛行の方法

飛行させる場所に関わらず無人航空機を飛行させる場合には、以下のルールを守る必要がある。

-日中（日出から日没まで）に飛行させること

-目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること

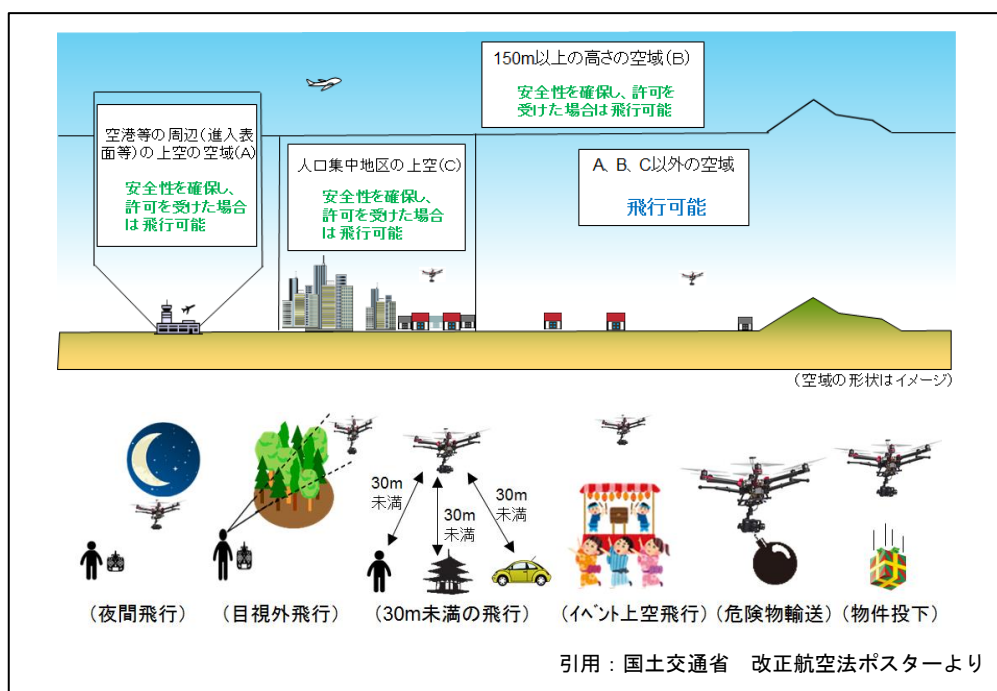
-第三者又は第三者の建物、第三者の車両等の物件との間に距離（30m以上）を保って飛行させること

-祭礼、縁日等多数の人が集まる催し場所の上空で飛行させないこと

-爆発物等危険物を輸送しないこと

-無人航空機から物を投下しないこと

これらのルールによらず無人航空機を飛行させようとする場合には、安全面の措置をした上で、国土交通大臣の許可・承認を受ける必要がある（無人航空機の飛行に関する許可・承認申請）。



飛行禁止区域と承認が必要となる飛行方法

【参考】

無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（国土交通省）

<http://www.mlit.go.jp/common/001128047.pdf>


無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール（国土交通省）

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

(2) 航空法以外の各種法令

無人航空機を飛行させるには航空法以外にも次の法令等も確認しておく必要がある。

① 電波法

2018年3月現在、免許不要で無人航空機の操縦に使用が認められている電波の周波数は2.4Ghz帯である。これらの無線機器には「技適マーク」が表示されている。2016年8月に電波法が改正され、無人航空機飛行に使用可能な周波数帯が新たに追加されたが、無線に関する国家資格と無線基地局開設の許可申請が必要である。

【参考】

ドローン等に用いられる無線設備について（総務省）

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>

② 道路交通法

無人航空機に関する明確な記述はないが、公道を飛行する場合は管轄する警察署長の許可が必要になる。

③ 民法

第三者の所有する土地で無人航空機を飛行する場合は、基本的には所有者の許諾を得る必要がある。

④ 迷惑防止条例

第三者のプライバシーを侵害するような飛行は禁止されている。

⑤ 公園条例・重要文化財保護法

公園や文化財の管理者が飛行を禁止している場合がある。

⑥ 海岸法・河川法

自治体や土木事務所等の管理者に届出が必要な場合がある。

6.2.2 保険の加入

UAV の操縦に際して万全の注意を払っていても、不測の事態で UAV を墜落させ、第三者や第三者の所有物に損害を与えてしまう可能性がある。そのため、賠償保険（対人・対物の損害賠償）に加入しておくことが望ましい。

6.2.3 飛行に関する知識と技能の習得

日本では 2018 年 3 月現在、国家資格としての免許制ではないため飛行に関するライセンスは不要であるが、国土交通省の定めている「無人航空機飛行マニュアル」では、操縦士に必要とされる知識・技能として以下のように定めている。そのため、航空法の規制範囲内の飛行であっても、最低限の操縦技能としてこのマニュアルに準じた知識と技能を習得しておくことが望ましい。

なお、このマニュアルは UAV を飛行させる際に必要とされる UAV の点検・整備、操縦士の訓練及び遵守事項、安全確保のために必要な体制等について記載されている。

(1) 基本的な操縦技量の習得（無人航空機飛行マニュアルより抜粋）

送信機（プロポ）操作に慣れるため、以下の操作が容易にできるようになるまで10時間以上の操縦練習を実施する。なお、操縦練習の際には、十分な経験を有する者の監督の下に行うものとする。訓練場所は許可等が不要な場所又は訓練のために許可等を受けた場所で行う。

項目	内容
離着陸	操縦者から 3m 離れた位置で、3m の高さまで離陸し、指定の範囲内に着陸すること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
ホバリング	飛行させる者の目線の高さにおいて、一定時間の間、ホバリングにより指定された範囲内（半径 1m の範囲内）にとどまることができること。
左右方向の移動	指定された離陸地点から、左右方向に 20m 離れた着陸地点に移動し、着陸することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
前後方向の移動	指定された離陸地点から、前後方向に 20m 離れた着陸地点に移動し、着陸することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
水平面内での飛行	一定の高さを維持したまま、指定された地点を順番に移動することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。

(2) 業務を実施するために必要な操縦技量の習得と維持（無人航空機飛行マニュアルより抜粋）

基礎的な操縦技量を習得した上で、以下の操作が可能となるよう訓練を実施する。訓練場所は許可等が不要な場所又は訓練のために許可等を受けた場所で行う。

項目	内容
対面飛行	対面飛行により、左右方向の移動、前後方向の移動、水平面内での飛行を円滑に実施できるようにすること。
飛行の組合	操縦者から 10m 離れた地点で、水平飛行と上昇・下降を組み合わせて飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
8 の字飛行	8 の字飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。

(3) 知識と技能等の習得方法

UAV の飛行技能や安全運航に関する知識を習得するには、独学で行う方法と民間団体が独自に行うドローンスクールに参加する方法がある。

ドローンスクールは、いずれも民間資格ではあるがそれぞれ修了証や認定証を発行している。国土交通省の WEB サイトに掲載されている UAV 等の操縦者に対する技能認証を実施する講習団体は 154 団体、これらの講習団体を管理する民間団体は 15 社ある（2018 年 3 月 1 日現在）。

なお、これらの講習団体の講習を修了した者は、国土交通省に飛行許可承認の申請を行う際に必要な「無人航空機を飛行させる者に関する飛行経歴・知識・能力確認書」の提出を、講習団体を管理する団体の発行する操縦技能の認定証をもって省略することができる。

【参考】

無人航空機の講習団体及び管理団体一覧（国土交通省）

<http://www.mlit.go.jp/common/001221588.pdf>

6.3 データ取得方法

安全に飛行させることができる者であれば自ら撮影し取得することができる。撮影する際には「写真のラップ率*」と「機体の対地高度」について注意する必要がある。

(1) 写真のラップ率

UAV 写真からオルソ画像の作成や材積推定の把握を行う場合、最低でもオーバーラップ*80%以上、サイドラップ*60%以上で撮影を実施する必要がある。サイドラップは UAV の GNSS 精度や風の影響を考慮し、80%以上とすることが多い。

(2) 機体の対地高度

機体直下の地盤高と機体との距離を示した数値。対地高度が低いと写真の解像度が高くなるが、一枚当たりの撮影範囲が狭くなるため、飛行コース数が増加する。一方、対地高度が高い場合には、写真の解像度が低くなるが、一枚当たりの撮影範囲が広くなり、飛行コース数は減少する。目的に合わせ、対地高度を決定する必要があり、50~100m の対地高度で撮影をする事例が多い。

6.4 SfM 解析代行サービス

UAV 写真を撮影後、オルソ画像や三次元点群情報を取得するためには SfM[※]解析を実施する必要があります。SfM 解析については自らソフトウェアを導入し解析するほか、各社の提供している SfM 解析サービスを活用する方法がある。サービス提供会社のクラウド[※]に UAV 写真をアップロードする等して解析を依頼し、オルソ画像・三次元点群情報を利用することができる。


サービス提供会社

- 朝日航洋株式会社
 - 【提供サービス】ドローン測量サービスくみき
 - 【HP】<http://smx-kumiki.com/>
 - 【価格】3000 円/月（月間処理画像 50 枚まで）
30,000 円/月（月間処理画像 3000 枚まで）
100,000 円/月（月間処理画像 5000 枚まで）
- アジア航測株式会社
 - 【提供サービス】3D モデリングサービスサイト
 - 【HP】<http://www.ajiko.co.jp/news/2017/20170705besshi.pdf>
 - 【価格】200,000 円～（画像枚数によって変動、3D ビューワー込）
- 国際航業株式会社
 - 【提供サービス】三次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D」
 - 【HP】http://www.kkc.co.jp/service/biz_solution/kkc-3d.html
 - 【価格】5,000 円/月（基本料金）
7,200~150,000 円/1 プロジェクト（利用料金：画像の枚数、プランによって変動）

6.5 代表的な機器

機器名	Phantom 4 pro	
会社名	DJI	
重量	1388g	
最大飛行時間	約 30 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	204,000 円	


参照 : <https://www4.djicdn.com/assets/images/products/phantom-4-pro/s1/e-6-aa05ac9435bad40cb7df3e039d1012ff.png?from=cdnMap>

機器名	MAVIC Pro	
会社名	DJI	
重量	743g	
最大飛行時間	～約 27 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	129,800 円	

参照 : https://store.dji.com/jp/product/mavic-pro?site=brandsite&from=buy_now_bottom

機器名	Zion QC730	
会社名	enRoute	
重量	4,500g	
最大飛行時間	～約 40 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	1,600,000 円 (PC やトレーニング 含)	

参照 : <https://enroute1.com/portfolio-posts/zion-qc-730/>

機器名	eBee	
会社名	Parrot	
重量	690g	
最大飛行時間	～約 50 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	

参照 : <http://www.geosurf.net/products/uav/uav.html>

7. UAV レーザ

メリット

- 航空レーザ*よりも計測密度が高く、より詳細な単木情報・地形情報を取得できる
- 機動性に優れ、高頻度の計測が可能のため、森林情報の更新に有効な手段となり得る

デメリット

- 広範囲のデータ取得には適さない
- 単木解析では上層を形成していない被圧木を計測することはできない
- 計測機器が高価であり、単位面積あたりの計測単価も高価である

7.1 技術的特徴

人が遠隔操縦する UAV*に小型のレーザ測距装置を搭載し、上空からレーザを照射することで三次元情報を取得する。航空レーザよりも低い高度で計測でき、計測密度が上がるため、より詳細に森林情報を取得することができる。一方で、航空レーザと異なり、UAV レーザでは、レーザセンサとカメラを同時に搭載できないため、同一フライトで 2 種類のセンサを利用することができない。機体・レーザ機器ともに高額であり、専門知識が必要なため、外部委託により計測を行うことになる。

UAV レーザでは積載重量に十分な余裕がないことから、カメラを搭載しないことが一般的で UAV 写真は取得できないものの、航空レーザと同様に反射強度を取得できることから、林相識別図*を作成して、林相判読*を行うことができる。また、UAV レーザを用いた材積推定ではレーザ計測密度が十分に密であるため、単木解析 (p.11) を用いる。

UAV レーザ計測から取得できるデータを表 7-1 に、UAV レーザ計測から取得できるデータの精度を表 7-2 に示す。

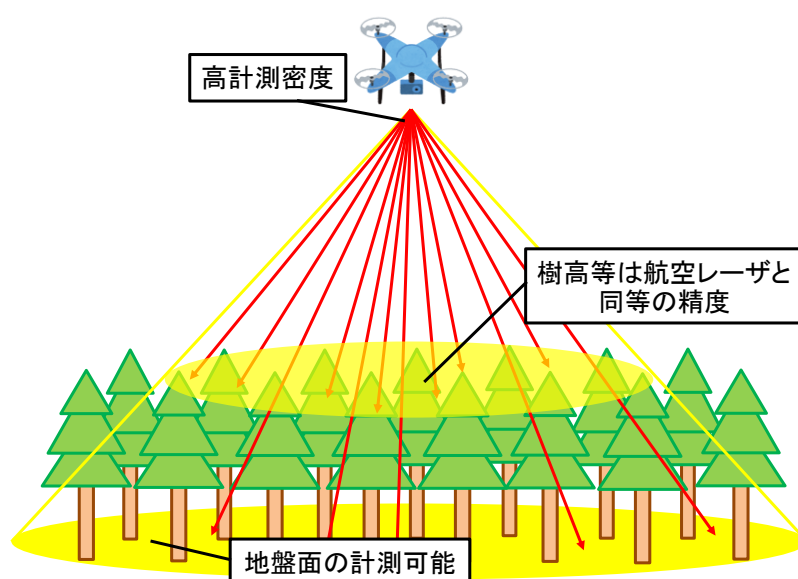


図 7-1 UAV レーザの計測イメージ

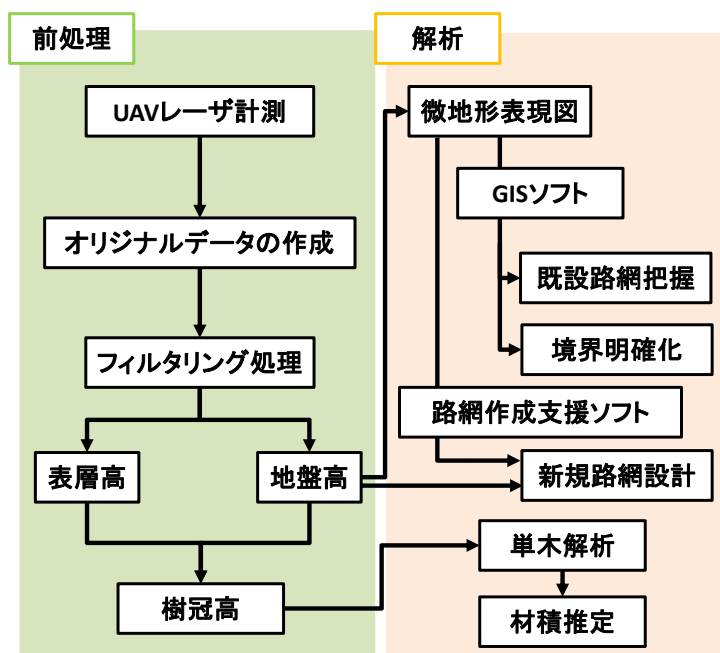


図 7-2 UAV レーザの解析フロー

表 7-1 UAV レーザから取得できるデータ


データ	概要
林相識別図*	UAV レーザで得られた反射強度や樹冠高*等を基にして、樹種の識別が容易にできる画像
林相区分図	林相識別図の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される
地盤高*	計測密度にもよるが、0.1m等のメッシュ*サイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図*	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
単木資源情報	樹冠の凹凸情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積等の情報を毎木で整備した GIS*情報
材積推定	小班等の森林管理単位で単木情報を集計し、広域の材積分布が把握できる情報

表 7-2 UAV レーザにより取得した森林情報の精度


項目	精度
樹種	高い精度で分類が可能
地形データ	0.1m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できない
本数	針葉樹の場合、平均誤差率約 5%. 広葉樹は計算できない
樹高	針葉樹の場合、平均誤差率約 5~10%
胸高直径	針葉樹の場合、平均誤差率約 10%
材積	針葉樹の場合、平均誤差率約 15~20%
曲がり	把握できない
位置精度	水平位置精度 30~50cm、垂直位置精度 20cm 以内

※出典：「森林の維持管理を目的としたドローンによる計測活用調査業務」報告書より【岡山県西粟倉村】


7.2 代表的な機材

機器名	Matrice 600 pro	
会社名	DJI	
重量	10.0kg	
最大飛行時間	約 38 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	593,800 円	

参照 : <https://www.dji.com/matrice600-pro?site=brandsite&from=nav>

機器名	VUX-1	
会社名	RIEGL	
パルスレート※	550kHz	
視野角	330°	
重量	3600g	
価格	25,000,000 円	

参照 : <http://www.riegl-japan.co.jp/product/uas-uav/riegl-vux-1.html>

機器名	VLP-160	
会社名	Velodyne	
パルスレート	20kHz	
視野角	360°	
重量	約 830g	
価格	1,200,000 円	

参照 : <http://velodynelidar.com/vlp-16.html>

8. 地上レーザ

メリット

- 樹幹の曲がりや被圧木を含め、単木情報を高精度に把握することができる
- 樹幹の三次元データが取得できるため、材の形質を踏まえた出材や販売計画のシミュレーションを行うことができる
- 単木ごとの位置情報も把握できるため、選木のシミュレーションを行うことができる
- 高精度の地形情報を取得できるため、路網の詳細設計ができる

デメリット

- 計測データを取得するために現地調査と同様に林内移動が必要になるので、広範囲の計測には適さない
- 林内で計測を行うため、現地の状況により計測条件が変動する

8.1 技術的特徴

地上レーザは一般的に三脚等の上にレーザスキャナを据え付け、計測地点から水平方向に 360° 、垂直方向にも 360° に近い方向へレーザを照射し、放射状に点群を取得する技術である。複数地点で計測し、各地点で取得した点群を位置合わせし、統合して三次元データとする。このデータの統合は専用のソフトを使う必要があり、計測地点が多い場合は統合の精度が低下することがある。このため、一回の計測における対象面積は1ha程度を目安とすることが望ましい。そして、三次元情報に正確な位置情報を付与するために、計測地点の位置をGNSS^{*}で観測する必要があることにも注意が必要である。また、光学センサを搭載している機器が多く、点群計測前後に同じ位置からの写真を撮影することで、点群に対して色情報を付与することができる。

森林資源量の把握では、地上レーザスキャナにより樹幹を計測し、胸高直径、樹高、材積、曲がり状況を算出する。数cm感覚で地表物の三次元情報を取得できることから、計測範囲全ての単木情報を高精度に取得することができる。

また、使用するレーザ機器によってはレーザ照射到達距離が短く、樹高、樹冠のうっ閉、傾斜等の条件により樹高が正確に測れない場合がある。

地上レーザは点群情報（樹形）や同時に撮影する写真等から単木レベルで樹種を特定することができるが、広域に利用されることは少ないことから、林相区分図の作成は一般的ではない。

なお、地上レーザにはバックパック式やハンディ式の機器も開発されており、林内を歩行しつつ計測することも可能となっている。

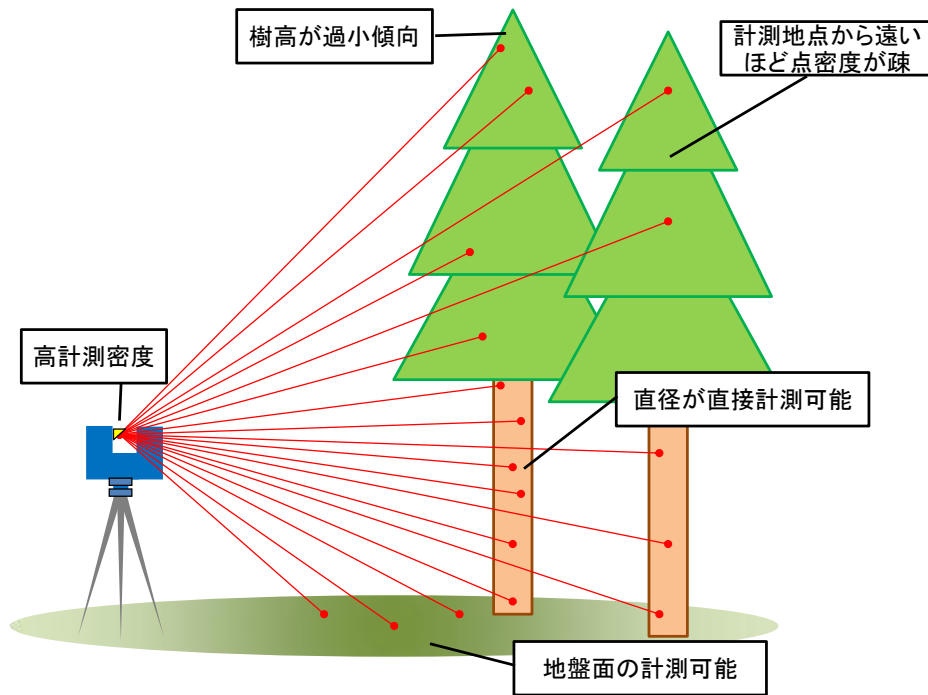


図 8-1 地上レーザの計測イメージ

計測データは、位置座標 (XYZ)、レーザ反射強度、色 (RGB) のデータが計測地点ごとに取り得し、特徴点のマッチング等により統合することでオリジナルデータ^{*}となる。オリジナルデータから地盤で反射した点群を抽出することで、地盤高^{*}を作成することができる。地盤高の解像度^{*}は計測密度次第であるが 0.01m 程度の細かさの地盤高を作成することができ、新たな路網の設計をより高精度に行うことができると考えられる。

地上レーザで取得できるデータを表 8-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 8-2 に示す。

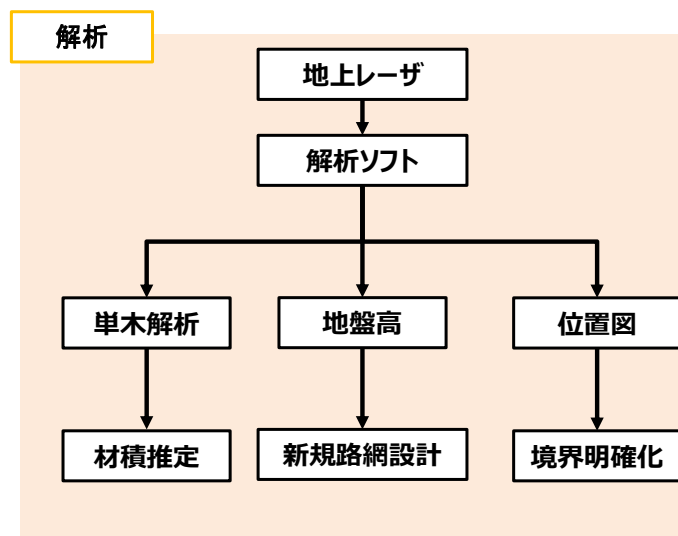


図 8-2 地上レーザの解析フロー

表 8-1 地上レーザから取得できるデータ

データ	概要
地盤高	0.01m等のメッシュ*サイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図*	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
樹高分布図	任意のメッシュサイズで樹冠高*の最大値を計算し、樹高を表す図
単木資源情報	樹幹の位置情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積、曲がり等の情報を毎木で整備した GIS*情報
材積推定	小班等の森林管理単位で単木情報を集計し、材積分布が把握できる情報

表 8-2 地上レーザにより取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	スギ、ヒノキの分類精度は約 85%
地形データ	0.01m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できる
本数	ほぼ 100%取得可能
樹高	平均誤差は約 0.5~1m (地上レーザのレーザパルス*が届かない範囲は推定できない)
胸高直径	平均誤差は約 2cm 以下
材積	平均誤差率は 1~5%
樹幹の曲がり	把握できる
位置精度	GCP*なし：10m 程度、GCP あり：10cm 程度

※出典：平成 29 年度森林資源情報整備技術実証事業

8.2 データ取得方法

地上レーザは毎木調査や標準地調査等の従来の現地調査の代替となりうる技術である。現地での計測にあたっては、従来と同様に調査プロットの配置を検討する必要がある。また、一機器のバッテリー稼働時間を考慮して計測を計画する必要があり、計測人員については2～3名で実施される傾向にある。


計測時には見通しを考慮して計測地点を選定し、欠測が発生しないように計測点の間隔に注意する必要がある。林内の状況は地形や樹種、施業状況等により異なるため、一定の経験と試行が必要となる。また、下草植生が密生している林内で計測する場合には、地盤面や立木にレーザが到着するよう計測前に刈り払いを行う必要がある。

8.3 代表的な機材

代表的な地上レーザスキャナを表 8-3 に示す。

表 8-3 地上レーザ計測機器一覧

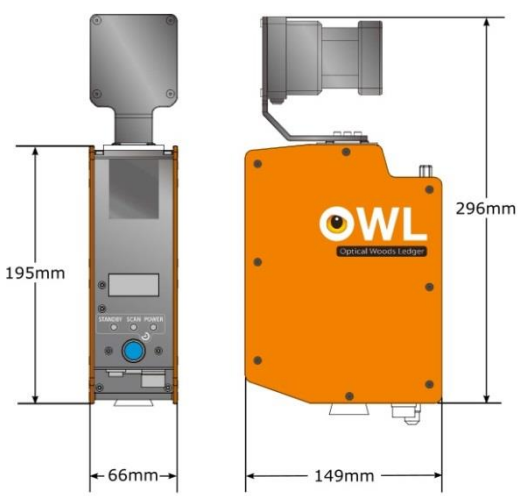
機器名	メーカー	最大計測 距離(m)	稼働時間 (hour)	重量(kg) (バッテリー無)
FOCUS ^S 350	FARO	350	4.5	-
FOCUS ^S 150	FARO	150	4.5	-
FOCUS ^M 70	FARO	70	4.5	-
FOCUS ^{3D} X330 HDR	FARO	330	4.5	5.2
FOCUS ^{3D} X130 HDR	FARO	130	4.5	5.2
BLK360	Leica	60	-	1
ScanStation C10	Leica	300	3.5	13
Pegasus:Backpack	Leica	100	3	20
VZ-400i	RIEGL	800	-	9.7
VZ-400	RIEGL	600	-	9.6
GLS-2000	TOPCON	500	2.5	10
GLS-1500	TOPCON	500	4	16
TX8	Trimble	120	2	10.7
TX6	Trimble	80	2	10.7
OWL	アドイン研究所	30	4～6	3.7

機器名	FOCUS ^S 350	
会社名	FARO	
計測距離	350m	
計測範囲	水平 360° 垂直 300°	
動作時間	4.5 時間	
動作環境	-20° ~ 55°	
重量	-	
	-	

参照 : <https://www.faro.com/ja-jp/products/construction-bim-cim/faro-laser-scanner-focus/>

機器名	Pegasus:Backpack	 <p>左から右: ケース、プリズム、タブレット、センサーシステム、 バッテリー4個と充電器、外部変換機</p>
会社名	Leica	
計測距離	100m	
計測範囲	水平 200° 垂直 360° ※歩行しながらレーザ計測 を実施し、面的な情報を取得	
動作時間	3 時間	
動作環境	0° ~ 40°	
重量	20kg	
バックパック式のレーザスキャナ センサは Velodyne の VLP16 を使用		

参照 : http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/Leica-PegasusBackpack_106730.htm

機器名	OWL	
会社名	アドイン研究所	
計測距離	30m	
計測範囲	水平 360° 垂直 270°	
動作時間	4~6 時間	
動作環境	-	
重量	3.7kg	
森林計測を主目的として開発 重量は小さく、簡易に計測が可能である。 付属のソフトウェアもある		

参照 : https://www.owl-sys.com/owl_spec_list/owl_machine

9. 導入事例

9.1 リモートセンシング技術導入事例調査

リモートセンシング技術の具体的な利活用方法等について調査するため、図 9-1、表 9-1 に示す 40 団体に対して調査を行い、合計 76 事例について回答を得た。調査先はリモートセンシング技術の導入実績のある都道府県、市町村、森林組合から地域的な偏りがないように選定し、加えて各森林管理局、国立研究開発法人森林研究・整備機構と UAV*写真の導入実績がある民間企業を対象としてヒアリングを実施した。

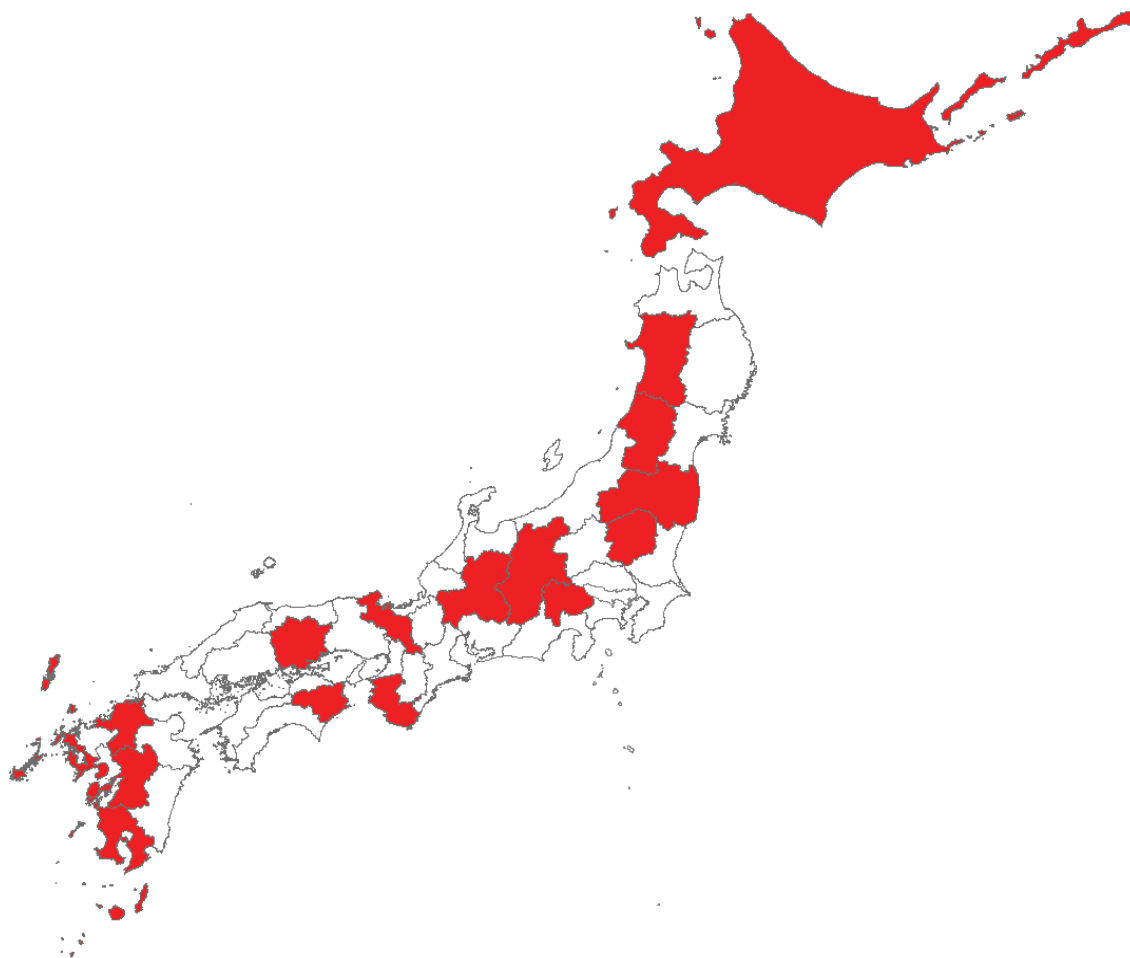


図 9-1 ヒアリング先の概況

表 9-1 ヒアリング先と導入技術・目的

ヒアリング先\導入したリモートセンシング技術	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
北海道	森					
下川町(北海道)			森路	森: 森林資源量の調査 路: 既設路網の把握、新たな路網開設計画 境: 森林境界の明確化 他: その他		
下川町森林組合			森路			
雄勝広域森林組合(秋田県)	森境他	森境他				
山形県	森					
金山町(山形県)			森			
金山町森林組合			森路境他			
福島県	森					
古殿町(福島県)			森路			
栃木県			森			
山梨県			路			
北信州森林組合			森路			
岐阜県		森他	他			
郡上市(岐阜県)			森			
郡上市森林組合		森境	森境			
京丹波町(京都府)		森路	森路			
和歌山県		森境	森境			
高野町(和歌山県)			路			
清水森林組合			森			
岡山県		森				
西粟倉村(岡山県)			森路他		森他	
真庭市(岡山県)		森				
院庄林業株式会社	森境他	森境他		森境他		
徳島県	森路境		森路境			
福岡市(福岡県)			森路他			
長崎県			森路			
熊本県			森境			
熊本県森林組合連合会			森境			
くま中央森林組合			森路			
霧島市(鹿児島県)			森			
北海道森林管理局	森	森	森	森		
東北森林管理局	森路	森路	森路			
関東森林管理局			森	森		
中部森林管理局			森他	森路他		
近畿・中国森林管理局	森路他		森他	他		
四国森林管理局	森路境	森路境		森路境		森
九州森林管理局		森				森
森林総合研究所	森	森	森	森路		森

(1) 導入リモートセンシング技術・目的

ヒアリング先のリモートセンシング技術の導入数を表 9-2 に示す。航空レーザ^{*}の事例が 35 件と半数近くを占めた一方で、計測機器が高価な地上レーザや UAV レーザの導入事例は少なかった。

表 9-2 リモートセンシング技術の事例数

リモートセンシング技術	事例数	割合
光学衛星画像	15	19.7%
空中写真	14	18.4%
航空レーザ	35	46.1%
UAV写真	8	10.5%
地上レーザ	3	3.9%
UAVレーザ	1	1.3%
合計	76	

※同一のヒアリング先で複数の事例があるため、表 9-1 の合計とは一致しない

各リモートセンシング技術の導入主体別の内訳を図 9-2 に示す。光学衛星画像^{*}では市町村や森林組合と比較して国有林や都道府県での導入数が多かった。空中写真では国有林、都道府県、市町村、森林組合で同程度の導入であった。航空レーザは市町村、森林組合での導入が多くなり、反対に国有林や都道府県での導入は少なかった。国有林での航空レーザの導入事例では試験的評価等が主目的であった。

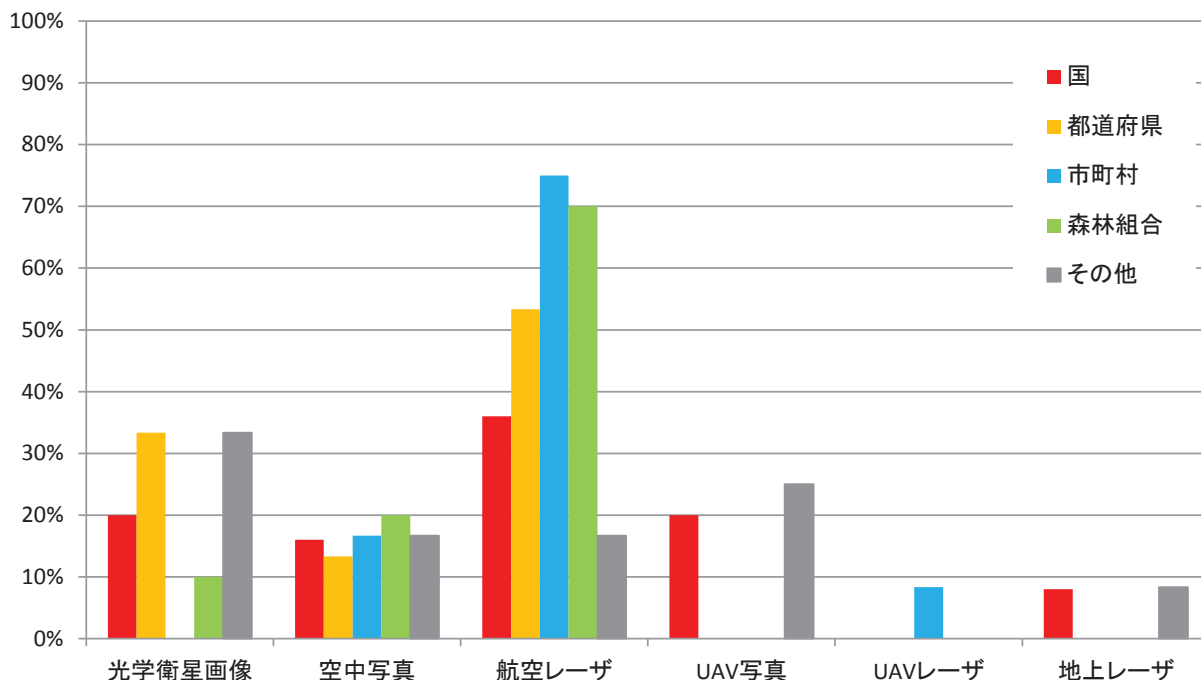


図 9-2 リモートセンシング技術の導入主体別の内訳

各リモートセンシング技術の導入目的別の内訳を図 9-3 に示す。各リモートセンシング技術において森林調査を導入目的とする事例が 50%を上回っていた。導入目的ごとに比較すると森

林調査を目的とした技術は航空レーザが最も多かったが、光学衛星画像や空中写真も多く見られた。既設路網の把握や新設路網の計画を目的とした事例では航空レーザの導入が最も多く、地形情報を取得できる航空レーザが優先的に採用されていると考えられる。森林境界の明確化を目的とした事例では、光学衛星画像、空中写真、航空レーザがそれぞれ同程度の数であり、予算・利用目的に応じて異なる技術を導入しているものと考えられる。

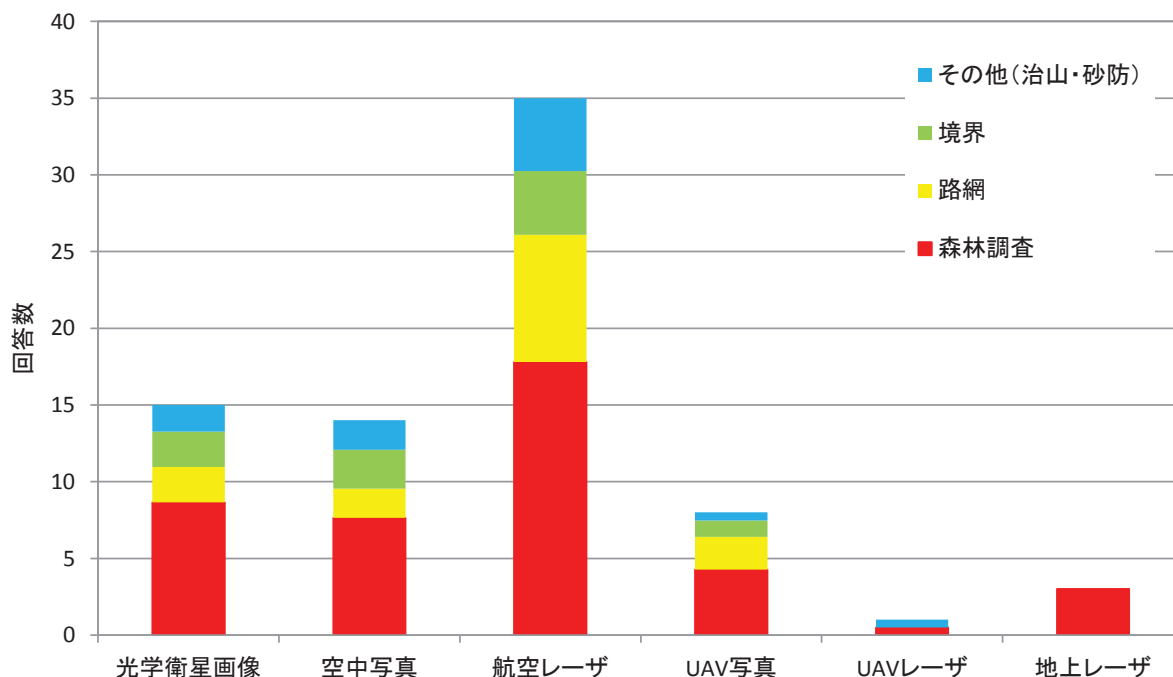


図 9-3 各リモートセンシング技術の導入目的別の内訳

※目的は事例に対して複数存在する場合もあるため、割合により内訳を示す。

リモートセンシング技術の導入目的を表 9-3 に示す。森林資源量の調査が 68 件と半数を上回っており、既設路網の把握・新たな路網開設計画は 26 件で 20%ほどであり、森林境界の明確化は 17 件であった。

表 9-3 目的の回答数

導入目的	回答数	割合
森林調査	68	53.1%
路網	26	20.3%
境界	17	13.3%
その他(治山・砂防)	17	13.3%
合計	128	

※同一のヒアリング先で複数の事例があるため、表 9-1 の合計とは一致しない

導入目的別の各リモートセンシング技術の内訳を図 9-4 に示す。森林調査では航空レーザが 40%ほどを占め、光学衛星画像と空中写真が 20%程度であった。UAV 写真は 10%であり、地上

レーザと UAV レーザの導入事例はいずれも森林調査を目的としていた。既設路網の把握・新設路網の計画では航空レーザが 56%を占め、光学衛星画像と空中写真、UAV 写真はそれぞれ十数%であった。なお、空中写真による路網を導入目的とした事例では既設路網の把握を目的としていた。森林の森林境界の明確化を目的とした場合には航空レーザは 35%、光学衛星画像、空中写真はともに 24%、UAV 写真は 17%であった。それぞれの目的に応じてレーザ計測と写真の比率が異なり、地盤のデータが必要な場合はレーザ計測が多く、森林の林相が必要な場合には写真計測が比較的多くなる傾向があった。

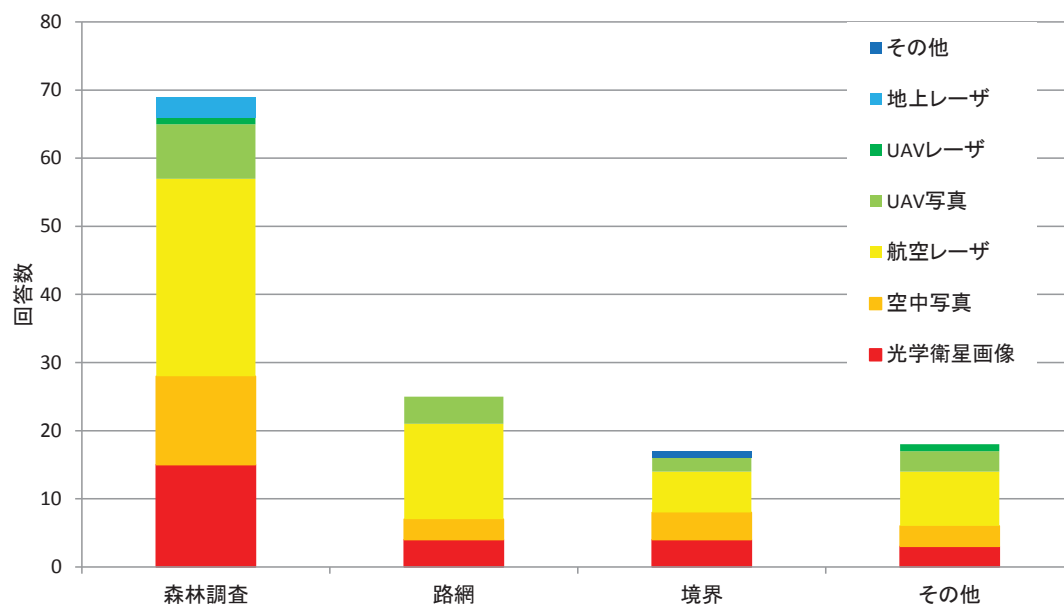


図 9-4 導入目的別の各リモートセンシング技術の内訳

(2) 導入コスト・計測面積

調査から得られた各技術の導入コストを図 9-5 に示す。対象面積に応じてコストが高くなる光学衛星画像、空中写真、航空レーザについて 1ha 当たりの平均金額を算出した。また、航空レーザについては計測に係る費用と解析・ソフトウェア導入を含んだ費用に細分類した。なお、計測には航空レーザのほか、等高線図・微地形表現図^{*}の作成等の地盤情報の取得までが、解析には樹高情報や単木情報等森林情報の整備（GIS^{**}情報）までが含まれる。

光学衛星画像では最も単価が低いが購入する対象面積が広いため、最低価格は 10,000 円ほどである。空中写真、航空レーザは面積ではなく、コース数によって計測コストが変動するが、面積に比例してコース数も増加するため、目安の単価を示すことができると考える。空中写真は 1ha 当たり約 300 円であり、航空レーザは計測のみの場合 1ha 当たり約 2,500 円（等高線図や微地形表現図の作成まで含まれる）、解析やソフトを含むと 1ha 当たり約 6,300 円であった。また、航空レーザの計測と解析を併せた事例で、最も低いコストは 2,315 円であった。調査事例では数千 ha を対象面積とした事例が多かったが、対象面積が数十万 ha 程度の都道府県単位となる場合、計測や解析の単価は減少する。また、レーザ計測機器の発展により計測コストが下がることから、今後は計測から解析までのコストが 2~3 千円/ha になっていくと考えられる。

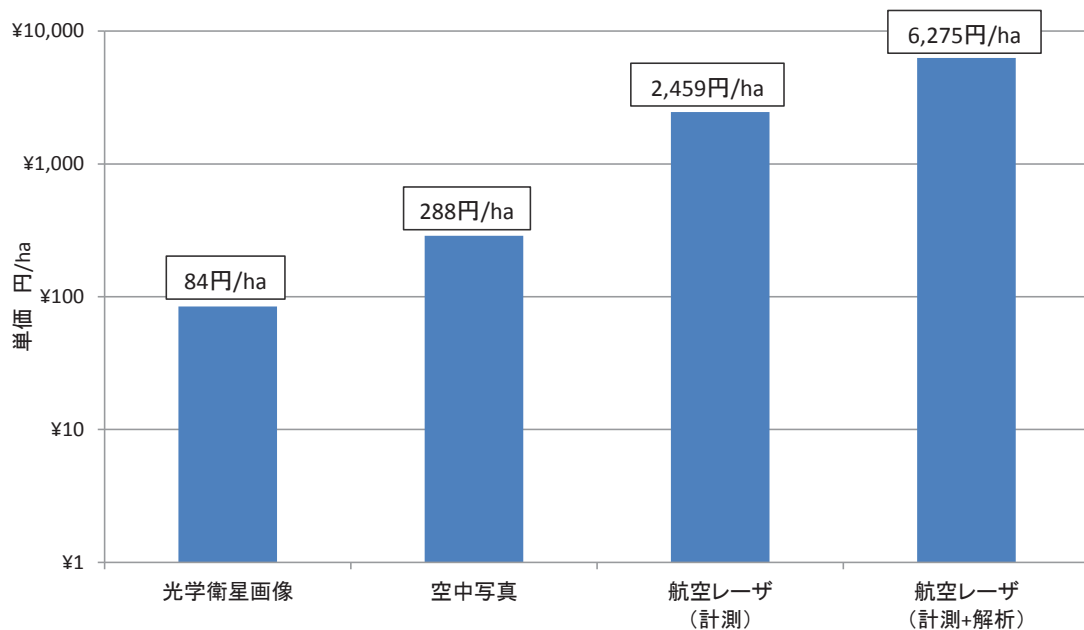


図 9-5 導入コスト

UAV 写真と地上レーザについてはリモートセンシング機器を購入し、計測や撮影を行うことが可能である。UAV 写真では DJI 社の Phantom が最も多く使用されており、カメラが付属する機体が平成 30 年 3 月現在では 20 万円程度で購入可能である。地上レーザでは計測機器と解析ソフトをセットで販売しており、400～800 万円で購入可能である。

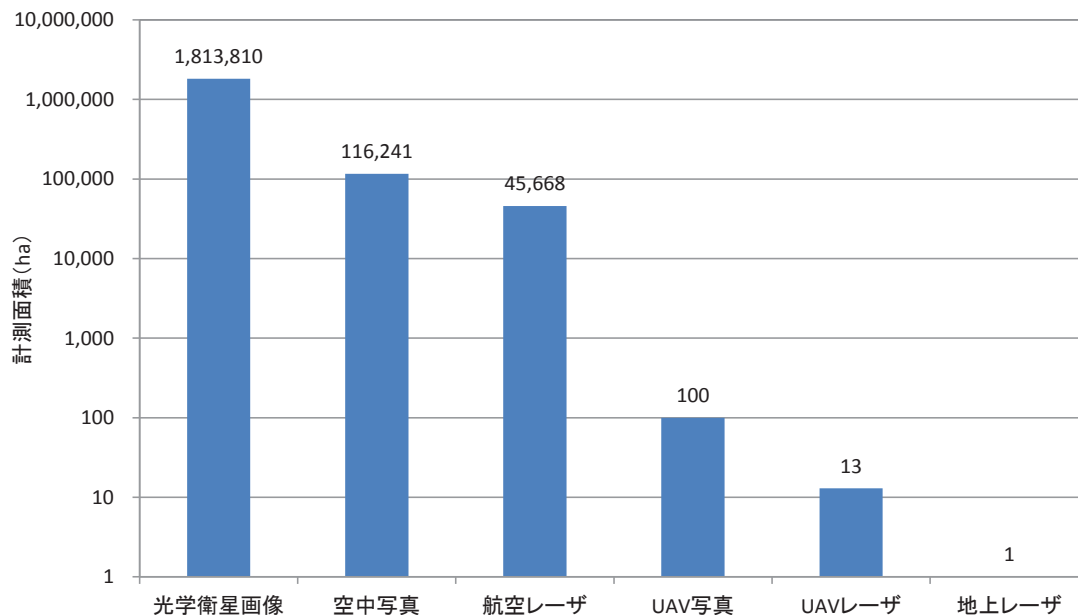


図 9-6 各技術による計測面積

各リモートセンシング技術を使用した際の計測面積の平均値を図 9-6 に示す。光学衛星画像が 180 万 ha と最も面積が大きく、次いで空中写真は 12 万 ha、航空レーザは 4.6 万 ha であった。UAV 写真は 100ha、UAV レーザは 13ha、地上レーザは 1ha であった。

(3) 導入効果・利用状況

各リモートセンシング技術の導入効果について図 9-7 に示す。調査では自由回答としたが、回答内容を以下の 7 つに分類した。

- 森林資源情報の高度化
- 森林資源情報の可視化
- 施業計画作成の効率化
- 現地調査の効率化
- 既設路網の把握・路網計画の作成の効率化
- 森林境界の明確化、提案型施業での合意形成の促進

現地調査の効率化が 18 件と最も多くなった。路網計画の効率化について挙げている事例は導入目的の件数と比較すると少なかった。リモートセンシング技術により取得したデータで路網計画を作成するためには、路網を設計するソフトウェアが必要であり、取得データを効果的に使用できていない可能性が考えられる。

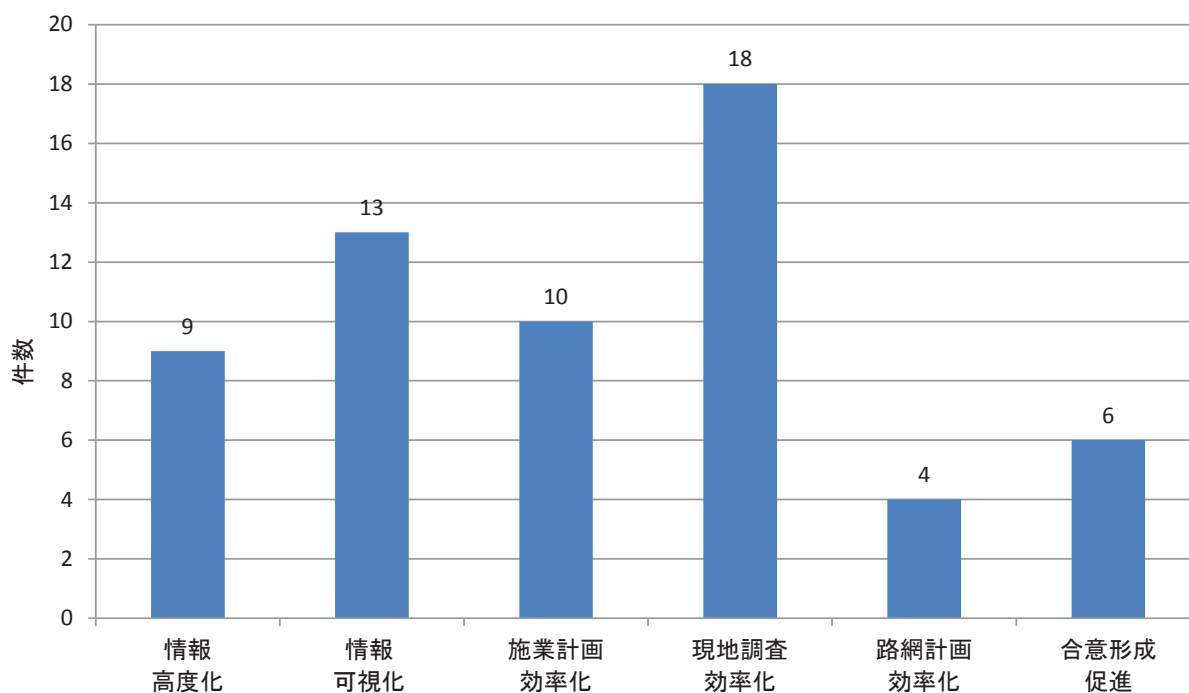


図 9-7 導入効果

光学衛星画像を用いた場合には、森林基本図と重ね合わせることで概況の効率的な確認や伐採範囲の現地確認を行う必要がなくなるといった導入効果が挙げられた。空中写真も光学衛星画像と同様に概況確認に使用されているほか、光学衛星画像よりも高解像度のオルソ画像[※]を取得可能であり、松枯れ被害木の特定を行い、森林簿の調整を行った事例も見られた。UAV 写真は小面積を高解像度で取得できることから、災害後の状況把握のために使用されることが多い。風倒被害後の調査では、上空から被害木を把握できるといった利点もある。また、林地崩壊等が発生した場合に、被害地全景を写真撮影し被害把握に要する時間が、UAV の使用により大幅に短縮された事例もある。

レーザ計測では定量的な解析ができるため、導入効果は多岐にわたり、航空レーザの導入効果の主な回答を以下に示す。

- 地形図や地盤高[※]の精度向上に伴って路網設計の精度が向上した。
- 収穫調査の精度が 50%から 95%に向上した。
- 治山事業で荒廃箇所的位置と規模が正確に把握できる。
- 森林整備箇所の優先順位を客観的に判断できる。
- 現地調査の回数が 5 回から 1 回程度になった。
- 微地形表現図等三次元データの活用により地域関係者との合意形成が図りやすくなった。

UAV レーザは航空レーザに比べて高密度にデータが取得できるが、解析で得られる項目はほぼ同じであるため、得られる導入効果も同様であると考えられる。地上レーザでは試験的導入の事例が多いが、標準地調査等の現地調査の時間短縮や省力化が図られ、取得情報として曲がりや中・下層植生の情報が增加すると期待されている。

リモートセンシング技術の導入後の取得したデータ等の利用状況を図 9-8 に示す。各リモートセンシング技術の利用状況からは空中写真の利用頻度が高いことがわかった。航空レーザでは試験的な導入のため、管理する森林のうち一部しかデータがないことが多く、利用頻度は空中写真と比較すると低かった。

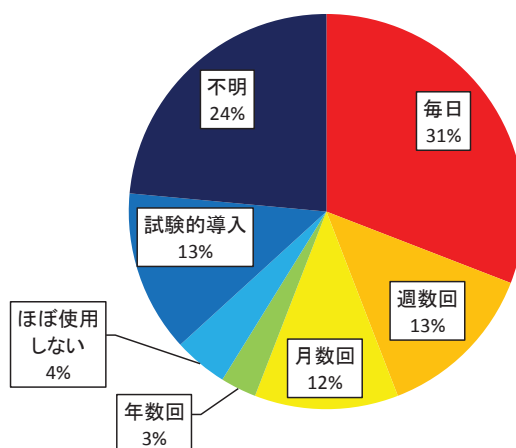


図 9-8 リモートセンシングデータの利用状況

表 9-4 各リモートセンシング技術の利用状況

	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
毎日	23%	50%	34%	13%	0%	0%
週数回	15%	17%	9%	25%	0%	0%
月数回	8%	8%	13%	13%	0%	0%
年数回	8%	0%	0%	0%	0%	33%
試験的導入	0%	0%	16%	0%	100%	67%
ほぼ使用しない	0%	0%	9%	0%	0%	0%
不明	46%	25%	19%	50%	0%	0%

(4) リモートセンシング技術（データ）活用にあたっての課題

リモートセンシング技術（データ）活用にあたっての課題を図 9-9 に示す。調査では自由回答としたが、回答内容から以下の 5 点に分類した。

- 導入コスト
- データの更新方法、データの更新に要するコスト
- 計測上の諸問題
- 解析結果の精度、解析可能項目
- ソフトウェア開発

導入コストが高額であるという回答が 26 件と最も多く、導入後のデータ更新に要するコストについても課題であることが挙げられる。データの更新コストを抑えるために航空レーザ後に空中写真等により森林資源情報を更新しようと検討している回答も見られた。解析結果の精度や解析可能項目を挙げた回答が 23 件と二番目に多く、材積の算出結果や立木本数の精度については一定の精度が求められ、地上レーザ以外の技術については曲がり等の品質等がわからないことも多く挙げられた。また、ソフトウェアの開発を挙げた回答が 10 件あり、多くは実務的にリモートセンシングデータを活用するための課題であり、解析精度とも関連した課題である。航空機運行の時期的なタイミングや UAV の飛行技術等、計測の運用上の諸問題は 6 件であった。

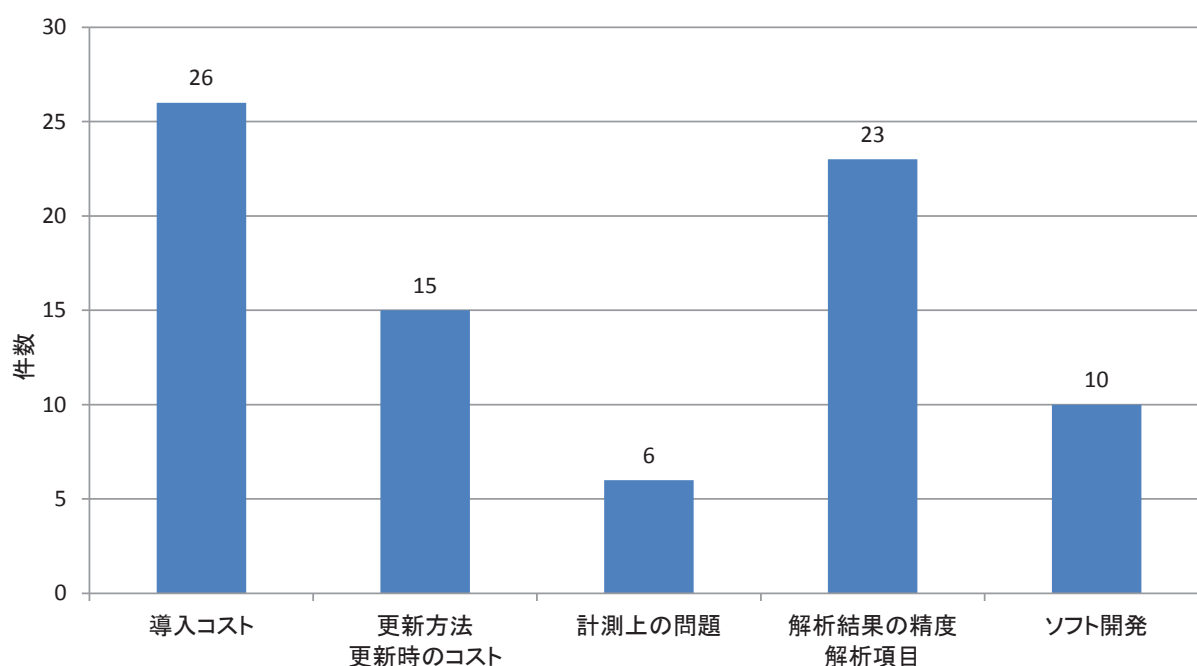


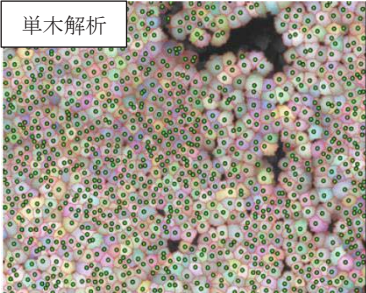
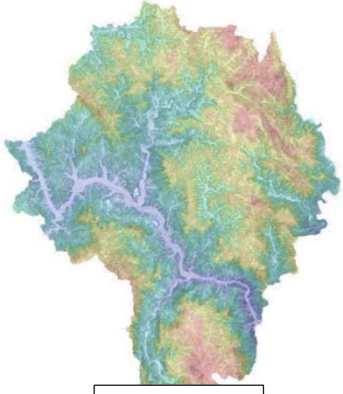
図 9-9 リモートセンシング技術の課題

9.2 導入事例集

導入事例-1

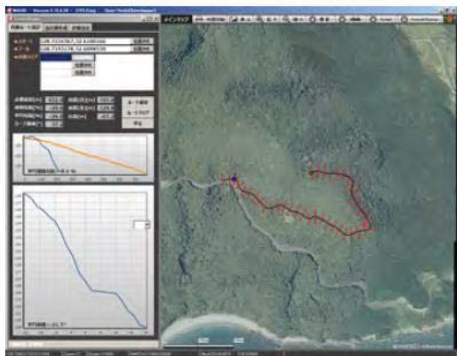
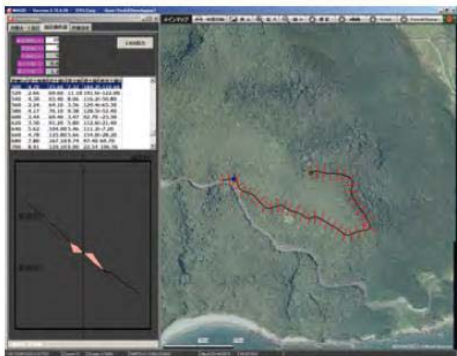
ヒアリング先	北海道水産林務部林務局森林計画課		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	光学衛星画像		
導入年	H29	計測年	H28
計測面積	4305.88 km ²	計測密度	—
導入コスト	4,860,000 円	画像分解能	5.0m (RapidEye 衛星)
成果品			
森林調査 林相判読* (自動)	衛星画像 林相区分図		
境界 林相による境界明確化	民有林区域外の森林抽出結果		
導入効果			
効率的な森林資源をを図るための検討資料として試験的に実施 現在、実用化に向けて分析データの精度を検証中			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
<p>解像度*5.0m の衛星画像では詳細な樹種判読が行えず、より解像度の高い画像が必要となる。森林現況の客観的な分類方法として、リモートセンシング技術は大変有効と考えられるが現時点ではその成果を調査簿に直接反映させるだけの信頼度 (精度) が十分に確保されておらず、結果的には現地の確認作業が必要となってしまう状況である。</p> <p>こうしたことから、森林資源の適切な把握や事務の効率化を図るためにも、光学衛星画像による解析精度の向上や運用に向けた事務処理要領等の整備が必要と考えられる。</p>			

導入事例-2

ヒアリング先	福島県 石川郡古殿町		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	空中写真 空中写真の立体視 航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	7,316 ha	計測密度	10 点/m ²
導入コスト	53,784,000 円	画像分解能	10cm
成果品			
森林調査 林相判読（目視） 材積推定（単木解析） 路網 既設路網の抽出 新規路網設計 その他	オルソ画像 林相区分図 森林資源情報【単木】 （樹高・胸高直径・材積等） 森林資源情報【小班】 （地位・樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等） 地盤高データ 微地形表現図※ 既設路網データ 路網設計支援ソフト格納データ 等高線図 陰影段彩図※ 傾斜区分図※ 斜面方位図 GIS ソフト※格納データ	 <p>単木解析</p>  <p>微地形表現図</p>	※路網設計支援ソフト及び GIS ソフトは別途導入済み
導入効果			
現地調査回数の低減 森林整備の優先順位の客観的判断			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
市町村単独での航空レーザの実施を行うには費用負担が大きい 再計測は 10 年ごとに必要 国有林と民有林を共同で実施できなければ路網等の情報が途切れる 広域での計測が望ましい			

※表中の図は『ふくしま森林再生事業 航空レーザ測量資源解析業務委託 報告書』より抜粋

導入事例-3

ヒアリング先	山梨県		
導入目的	既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H23、H28	計測年	複数年
計測面積	アーカイブデータを活用	計測密度	1m
導入コスト	非公開	画像分解能	(地盤高のメッシュ※サイズ)
成果品			
地形情報	立体画像地図、微地形表現図、傾斜区分図 (国土交通省・山梨県県土整備部より地盤高を借用し、作成)		
その他	路網計画		
導入ソフト	路網作成支援ソフト <ul style="list-style-type: none"> ・路網の計画配置、選定 ・始点と終点を設定し、自動で路網シミュレーション ・計画した路網の横断面図、縦断面図を自動で取得 		
			
	林道計画支援画面①(縦断面図)		林道計画支援画面②(断面図)
導入効果			
地形判読※による路網計画の精度向上			
現地調査の効率化			
GIS ソフトによる半自動的な路網計画による業務の効率化			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
地形等の変化があるため、永久に使用できるものではなく、再調査等が必要となる。地形に関しては10～20年程度の周期で再計測が必要			
地盤高データのメッシュサイズは1mであるが、路網の概略設計を行う際の精度は十分			

※表中の図は応用地質 HP (https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2014/11/森林整備空間情報システム 1.pdf) より抜粋

導入事例-4

ヒアリング先	金山町森林組合		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画 森林境界の明確化 森林経営・管理、管理計画策定		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28、H29
計測面積	6,000ha	計測密度	4 点/m ²
導入コスト	25,000,000 円	画像分解能	0.5m
導入概要			
地形情報 林相判読（目視） 材積推定 （単木解析） 導入ソフト	オルソ画像、微地形表現図、等高線図、傾斜区分図 林相識別図*、林相区分図 樹高、胸高直径、材積 単木データ、森林情報を集計した小班データ GIS ソフト <ul style="list-style-type: none"> ・ GIS 機能 ・ 路網計画機能 ・ 出材量シミュレーション ・ 施業計画出力 タブレット型端末 GIS <ul style="list-style-type: none"> ・ 現地での各種図面確認 ・ GNSS*による記録 		
	<p>①路網を作成</p> <p>②集計範囲を入力</p> <p>③範囲内の単木情報を表示</p> <p>④樹種別に集計</p>		
導入効果			
現地調査、作業計画作成、進捗管理、作業打ち合わせ等の日常業務全般に使用。 数値化し、比較するのは困難であるが、従来業務から生産性は向上している。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
高額な初期・更新コスト、情報更新の手段、他の技術との連携利用に関わるソフトの開発が必要			

※表中の図は『金山町森林 LP 計測業務委託報告書』より抜粋

導入事例-5

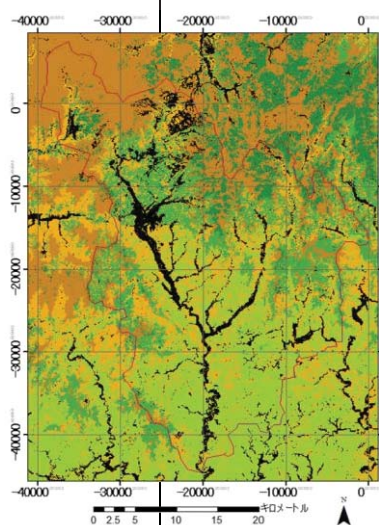
ヒアリング先	岐阜県郡上市		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	光学衛星画像 航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H25、H26
計測面積	103,000ha	計測密度	航空レーザ 8点/m ²
導入コスト	4,337,000円	画像分解能	衛星画像 30m

導入概要

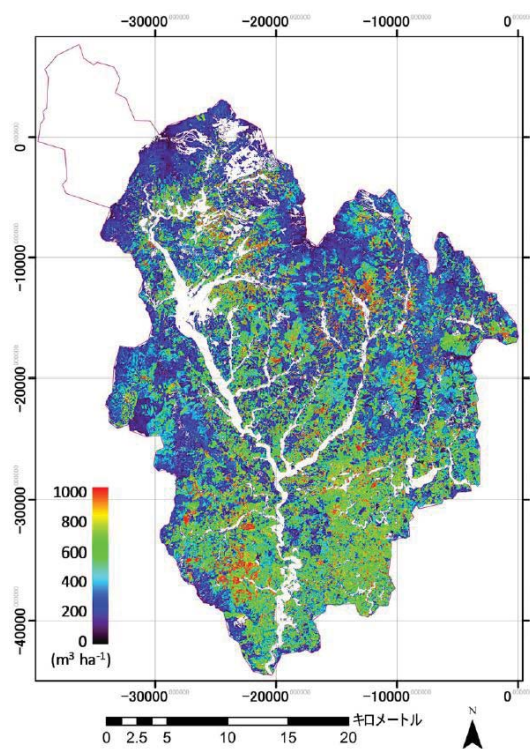
林相判読（自動）
材積推定
（エリアベース解析）
その他

ランドサット衛星画像による森林・非森林、常緑林・落葉林の分類
材積分布図（10m メッシュ）
樹高分布図

森林組合にデータを提供し、GISを用いて、連携して森林管理を行っている。



林相分類結果区分



材積分布図

導入効果


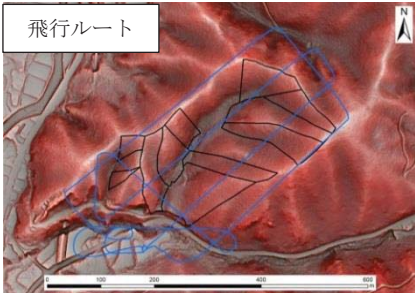

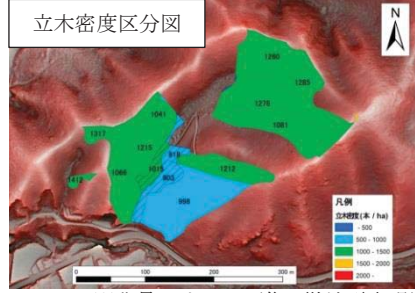
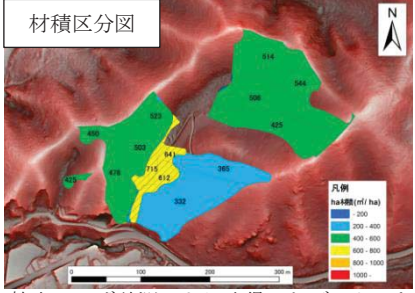
従来の材積把握は、森林簿の資源情報を活用していたが、現場と相違する箇所も多い。リモートセンシング技術の活用により、森林簿よりも現場に近い結果が得られるため、木材生産推進エリア等のゾーニングの際には、より信頼できるデータとして活用ができる。

リモートセンシング技術活用にあたっての課題

材積分布等の解析について、企業によって解析方法が異なり規定もないため、発注側において仕様書を作成することが困難。広範囲で材積を把握しようと思うと精度にばらつきが生じる。導入コストが高い。



※表中の図は『「リモートセンシングによる森林情報の広域推定」2016年度 報告書』より抜粋

導入事例-6




ヒアリング先	西栗倉村		
導入目的	航空レーザで得た情報を更新するための手段としての検討		
リモートセンシング技術	UAV レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 13 ha	計測密度	100 点/m ² 以上
導入コスト	3,218,400 円	画像分解能	2.5cm
成果品			
森林調査 林相判読 (目視) 材積推定 (単木解析)	オルソ画像 林相識別図 森林資源情報【単木】 樹高・胸高直径・材積等 森林資源情報【小班】 樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等	 <p style="text-align: center;">UAV レーザ機器</p>	
	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <p>飛行ルート</p>  </div> <div style="width: 50%;"> <p>オルソ画像</p>  </div> <div style="width: 50%;"> <p>立木密度区分図</p>  </div> <div style="width: 50%;"> <p>材積区分図</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">※背景のオルソ画像・微地形表現図は航空レーザ計測により取得したデータである</p>		
導入効果			
航空レーザと比較して、写真の精度が高く、樹冠まで把握できる。 伐採地等、小面積で特定の場所のみを撮影することが容易にできる。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
現状では、情報更新の手段として用いるにはコストが高すぎる。 また、1回あたりの計測費用も現状では高い。			

※表中の図は『森林の維持管理を目的としたドローンによる計測活用調査業務報告書』より抜粋

導入事例-7

ヒアリング先	院庄林業株式会社		
導入目的	森林資源量の調査 森林境界の明確化 森林所有者への説明資料		
リモートセンシング技術	UAV 写真 光学衛星画像 空中写真		
導入年	H28	計測年	通常業務で計測
計測面積	200ha	計測密度	計測時によって異なる
導入コスト	1,500,000 円	画像分解能	
成果品			
林相判読 (目視) 森林境界の明確化	<p>UAV 空中写真によりオルソ画像を取得 樹種や林況を把握 同様に森林境界を把握</p> <p>オルソ画像等と GIS の併用 森林所有者への説明資料 境界確認の根拠資料として使用</p>   <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p>Google Earth や GIS 等により複数のリモートセンシングデータを活用</p> </div>		
導入効果			
<p>森林所有者への説明資料として、林況を示すような資料、境界確認の証拠資料として有効であり、合意形成が図りやすくなった。</p> <p>空中写真やオルソ画像を使用することで状況把握のための現地調査を省力化・効率化できた。</p>			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
航空レーザ測量データの価格が一事業体にとっては高価で、費用対効果がある価格ではない。			

導入事例-8

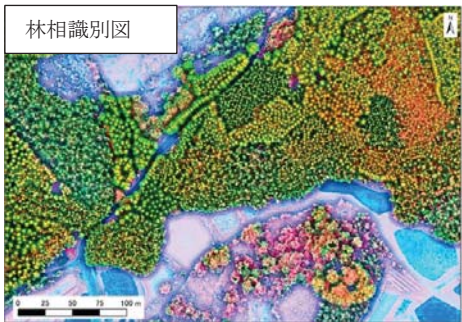
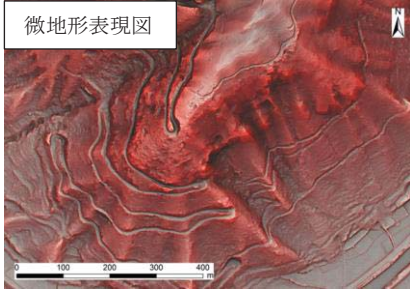
ヒアリング先	四国森林管理局		
導入目的	各種森林調査（治山、林道、森林計画、造林、収穫、獣害対策等）、災害箇所調査、技術開発等		
リモートセンシング技術	UAV 写真		
導入年	H25～H29 年度		
計測面積	-	計測密度 画像分解能	静止画（4K）
導入コスト	9,570,000 円 (UAV29 台、SfM*ソフト等含む)		
成果品			
地形情報	災害箇所の 3D 化により荒廃状況を把握、対策工の配置等の検討 		
森林情報	伐採箇所や災害箇所のオルソ画像により業務資料を作成 ■伐採箇所のオルソ画像を GIS に取り込む  ■災害復旧計画の検討 		
導入効果			
事業対象箇所の最新の現況を客観的に把握できる。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
導入コストが掛かる（UAV、PC、SfM*解析ソフト）。			
UAV 操作や PC での画像処理については職員を育成していく必要。			

導入事例-9

ヒアリング先	福岡市森林・林政課		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 1,600ha	計測密度	4 点/m ²
導入コスト	8,640,000 円	画像分解能	0.5m
成果品			
森林調査	<p>林相判読 (目視) オルソ画像 林相識別図 林相区分図</p> <p>材積推定 (単木解析) 森林資源情報【単木】 (樹高・胸高直径・材積等)</p> <p>森林資源情報【小班】 (樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等)</p>		
路網	<p>新規路網設計 地盤高データ 微地形表現図</p> <p>導入ソフト GIS ソフト、路網設計支援ソフト</p>		
その他	<p>森林基本図 傾斜区分図</p>		
導入効果			
<p>利用間伐に係る森林作業道の計画にあたり、従来は空中写真や等高線から作業道の線形を検討した後、現地踏査を実施する必要があったが、航空レーザにより得られた詳細な地形情報の活用により、机上で高精度の計画が可能となったため、業務の省力化につながった。</p>			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
<p>劣性木等が樹頂点の判読をされていないためか、計測本数が実本数より少ない傾向があるように思う。間伐や枝打の設計は立木本数を基準とするため、実本数との差異がより少なくなれば良いかと思う。</p>			

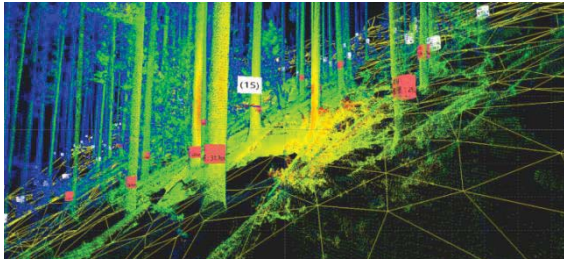
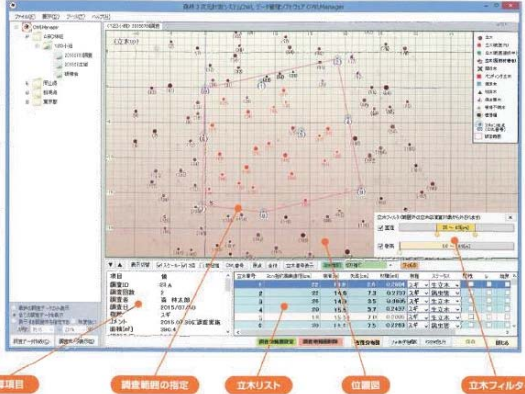
※表中の図は『林業資源ビジネス化プロジェクト調査業務委託報告書』より抜粋

導入事例-10

ヒアリング先	熊本県森林組合連合会		
導入目的	森林境界の明確化		
リモートセンシング技術	航空レーザ 全天球カメラ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 1,000ha	計測密度 画像分解能	4 点/m ²
導入コスト	熊本県が負担 120,000 円 (全天球カメラ)		0.5m
成果品			
森林調査 林相判読 (目視) 材積推定 (単木解析)	オルソ画像 林相識別図 林相区分図 森林資源情報【単木】 (樹高・胸高直径・材積等) 森林資源情報【小班】 (樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等)		
路網 既設路網の抽出	地盤高データ高 微地形表現図 既設路網データ 等高線図 傾斜区分図		
その他	全天球写真※		
導入効果			
所有者への提案や境界の確認に利用している 林分の所有者の境界がわかりやすい 全天球写真は通常の写真よりも現地の状況がわかりやすい			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
今後、より精細な微地形表現図を作成することが可能となり、今回表現することが出来なかった微地形や岩等の地上物を認識することができれば、境界明確化資料としての用途がさらに広がるのではないかと。 境界の変化点や林分の様子を全天球カメラで撮影し、GIS 上で写真を管理したい。			

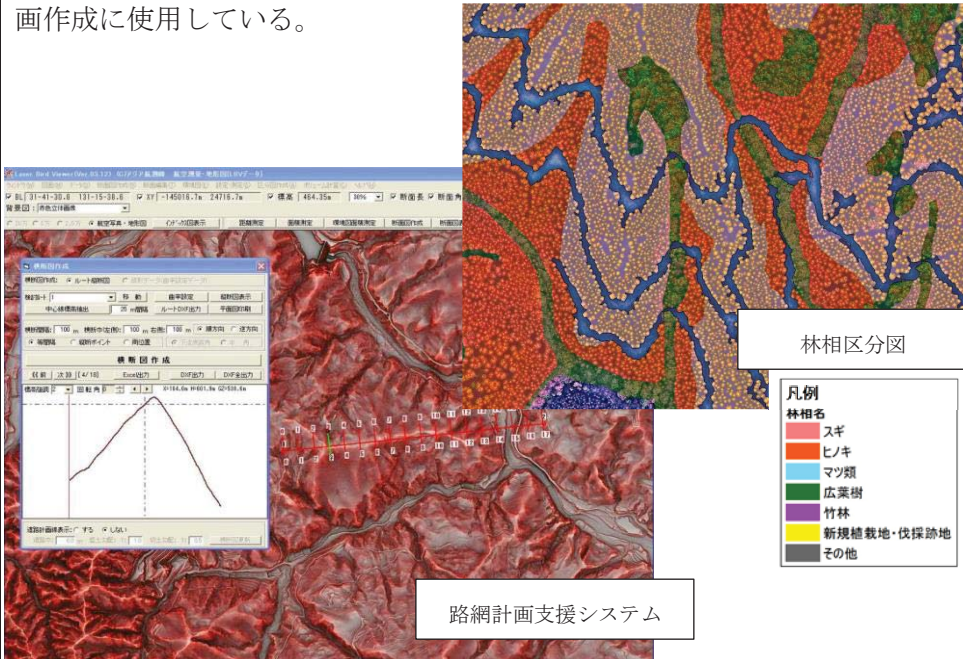
※表中の図は熊本県が実施した『平成 27 年度航空レーザ計測による森林資源等解析業務 報告書』より抜粋

導入事例-11

ヒアリング先	九州森林管理局 技術普及課		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	地上レーザ (地上レーザ測量機器 OWL を使用)		
導入年	H27		
計測面積	0.04ha	計測密度 画像分解能	数百点/m ² 以上
導入コスト	4,390,000 円 (地上レーザ機器購入費のみ)		数 cm
成果品			
森林調査 材積推定 (単木解析) 導入ソフト	森林資源情報【単木】 (樹高、胸高直径、単材積) 立木位置図 OWLManager	 	
導入効果			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査時間・人員・労力の削減 ・ 立木位置等取得できる林分の情報量の増加 			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 林分状況（下層植生・樹種等）によって精度に影響が出る、利用可能な条件が限定的 ・ 品質区分や被害木の判別が自動でできないため反射材を巻く等の手間が必要 			

※表中の図は森林三次元計測システム「OWL」パンフレットより抜粋

導入事例-12

ヒアリング先	くま中央森林組合		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H27	計測年	H27
計測面積	3,490ha	計測密度	4点/m ²
導入コスト	13,960,000円	画像分解能	0.5m
導入概要			
地形情報 林相判読(目視) 材積推定 (単木解析) 導入ソフト	<p>等高線データ、傾斜区分図、標高区分図、微地形表現図</p> <p>レーザ林相図、林相区分図、オルソ画像</p> <p>人工林単木情報(樹高、胸高直径、単材積)</p> <p>人工林林分情報(林分面積、収量比数等の森林指標、林分材積)</p> <p>路網計画支援ソフト(横断図、縦断図の作成)</p> <p>間伐、皆伐、作業道作設等施業の計画や他者への林分状況説明、森林経営計画作成に使用している。</p>		
			
導入効果			
<ul style="list-style-type: none"> ・従来よりも正確な森林資源情報や詳細な地形情報を基とした施業計画が可能になった。 ・森林所有者への説明の際の提供できるデータの幅が広がった。 			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
<p>導入料金と費用対効果が高額</p> <p>数年ごとにデータを更新する必要がある</p>			

※表中の図は『平成27年胸川流域航空レーザ測量並びに森林資源解析業務報告書』より抜粋

10. リモートセンシングデータを活用するためのソフトウェア

リモートセンシング技術により取得したデータの解析や活用のためにはソフトウェアの利用が必須である。ソフトウェアの種類は多く、ここではほんの一部についてしか取り上げていない。ソフトウェアの選択で考慮すべき事項は以下の通りである。

- ・ 目的に合った機能を有している
- ・ 汎用性のあるデータを扱うことが可能

以下は GIS^{*}、前処理・解析、森林資源量の調査、既設路網の把握・新たな路網作設計画、森林境界の明確化についてのソフトウェア対応表である。

表 10-1 ソフトウェア一覧表（GIS、前処理・解析）

ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	ビューワー		前処理・解析	
			GIS	三次元情報	オルソ画像 表層高 (UAV写真)	三次元計測データ 地盤高 (地上レーザ)
ArcGIS Explorer	92	無償	○			
Google Earth	92	無償	○			
Bentley Pointools	93	無償		○		
ArcGIS	94	有償	○			
ERDAS IMAGIN	95	有償	○	○		
TNTmips	96	有償	○	○		○
QGIS	97	無償	○			
StereoViewerPro	98	有償				
もりったい	99	有償		○		
ALANDIS NEO FOREST	100	有償	○			
FRD	101	有償	○			
MAGIS	102	有償	○	○		
PhotoScan	103	有償		○	○	
Pix4Dmapper	104	有償		○	○	
Digital Forest	105	有償		○		○
OWLManager	106	有償		○		○

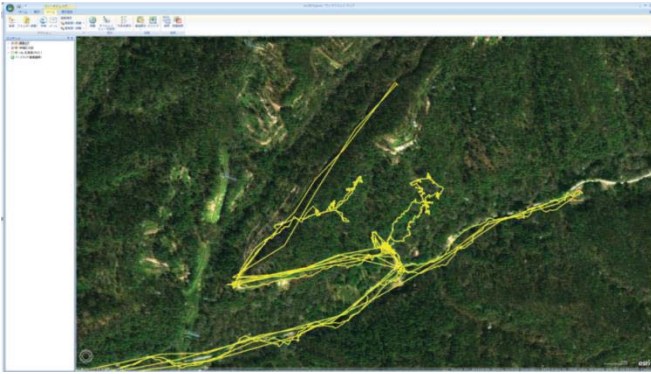
表 10-2 ソフトウェア一覧表（森林資源量の調査）

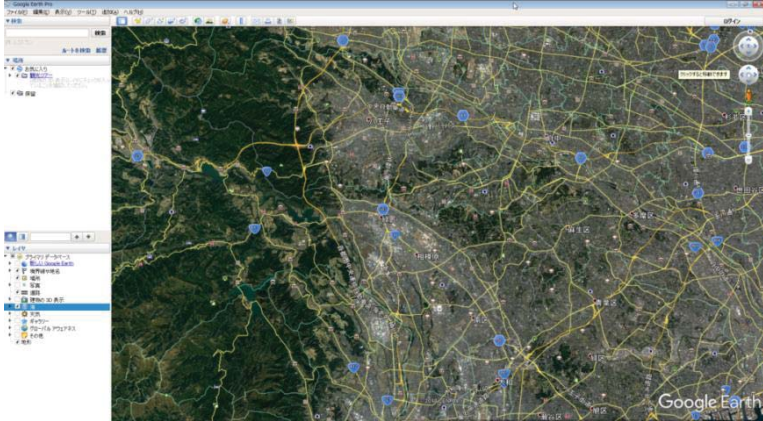
ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	森林資源量の調査				
			林相判読 (自動)	林相判読 (目視)	樹高分布図	材積推定 (空中写真) (UAV写真)	材積推定 (地上レーザ)
ArcGIS Explorer	92	無償					
Google Earth	92	無償					
Bentley Pointools	93	無償					
ArcGIS	94	有償	○	○	○		
ERDAS IMAGIN	95	有償	○	○			
TNTmips	96	有償	○	○	○		
QGIS	97	無償	○	○	○		
StereoViewerPro	98	有償		○		○	
もりったい	99	有償	○	○		○	
ALANDIS NEO FOREST	100	有償		○			
FRD	101	有償					
MAGIS	102	有償		○			
PhotoScan	103	有償					
Pix4Dmapper	104	有償					
Digital Forest	105	有償	○				○
OWLManager	106	有償					○

表 10-3 ソフトウェア一覧表（路網、森林境界の明確化）

ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	地形解析	既設路網の把握・ 新たな路網開設計画の作成		森林境界の明確化 (作図)
				既設路網調査 (作図)	新規路網設計 (作図)	
ArcGIS Explorer	92	無償				
Google Earth	92	無償				
Bentley Pointools	93	無償				
ArcGIS	94	有償	○	○		○
ERDAS IMAGIN	95	有償				○
TNTmips	96	有償	○	○		○
QGIS	97	無償	○	○		○
StereoViewerPro	98	有償				○
もりったい	99	有償				○
ALANDIS NEO FOREST	100	有償		○	○	○
FRD	101	有償		○	○	
MAGIS	102	有償		○	○	○
PhotoScan	103	有償				
Pix4Dmapper	104	有償				
Digital Forest	105	有償			○	
OWLManager	106	有償				

10.1 GIS ビューワー

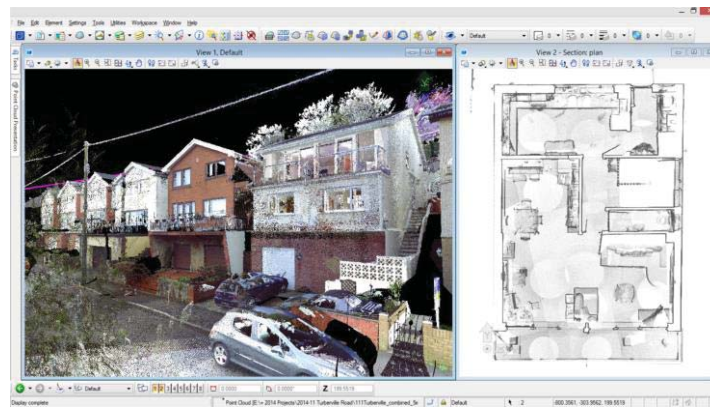
ソフト名	ArcGIS Explorer
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS
ダウンロードサイト	http://resources.arcgis.com/ja/communities/arcgis-explorer-desktop/01s000000003000000.htm
概要	
<p>ESRI 社が開発した無料ビューワー。ベースマップとして、日本全国の衛星画像がデフォルトで搭載されている。Shp データや kml データ、gpx データ等の様々なベクタ*の閲覧や任意の地点間における距離を測定することができる。</p>	
	

ソフト名	Google earth
会社名	Google
ソフトの目的	GIS
ダウンロードサイト	https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/
概要	
<p>Google が開発した、世界中の地理空間情報を表示することが可能な無料のアプリケーションソフト。地球の全地域をほぼ網羅した光学衛星画像データが収録されており、過去の写真を閲覧することも可能である。ハンディ GNSS*で計測した際に取得できる kml や gpx を地図上に表示することができる。また、座標定義を行ったラスタ*を表示することも可能である。地域により背景となる光学衛星画像の解像度*や撮影時期が異なる点について留意する必要がある。</p>	
	

ソフト名	Bentley Pointools View & Bentley Pointools PODcreator
会社名	Bentley Systems
ソフトの目的	点群ビューワ
ダウンロードサイト	https://www.bentley.com/ja/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools-view

概要

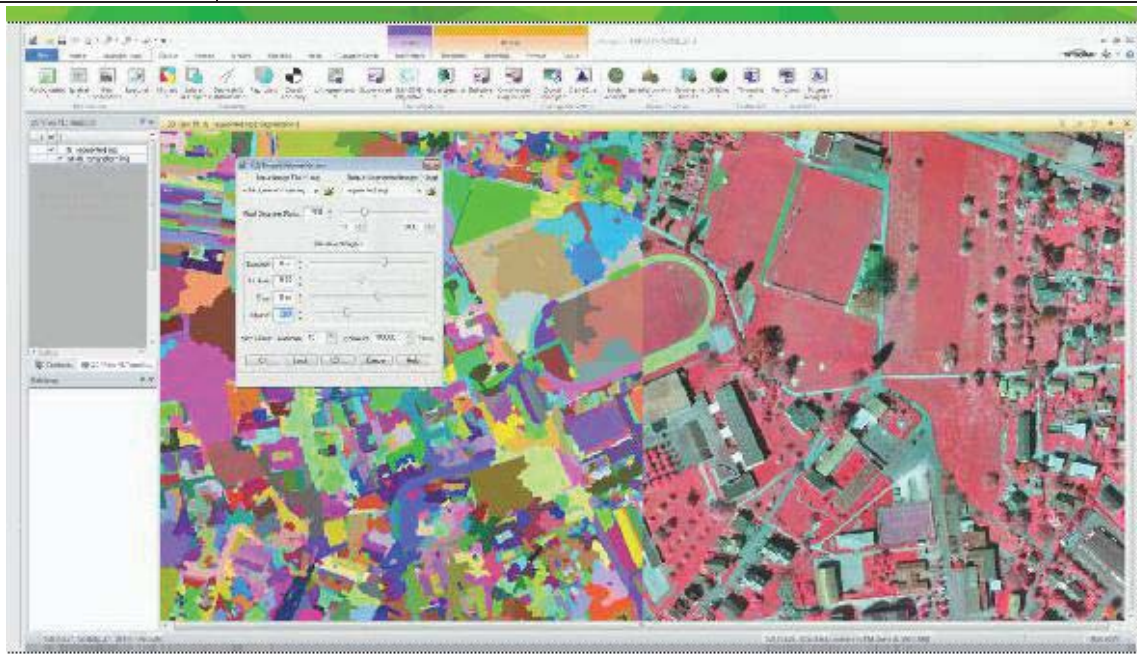
Bentley Pointools View は地上レーザや航空レーザ※で得た三次元点群を閲覧できる無料のソフトウェアである。POD ファイルという専用のフォーマットでないと読み込めないため、表示したいファイルを Bentley Pointools PODcreator により変換する必要がある。

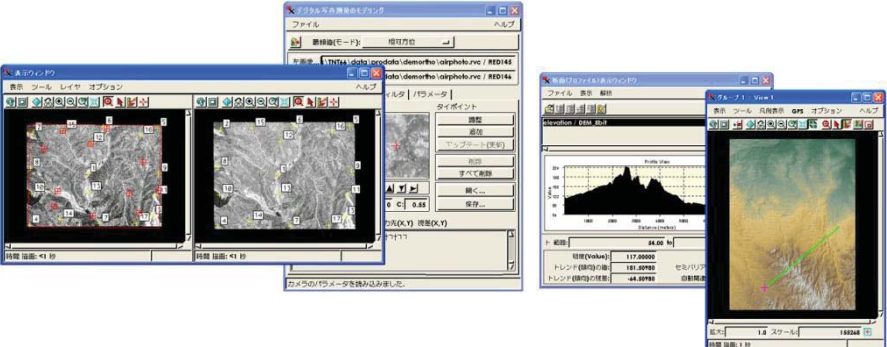


10.2 解析ソフト

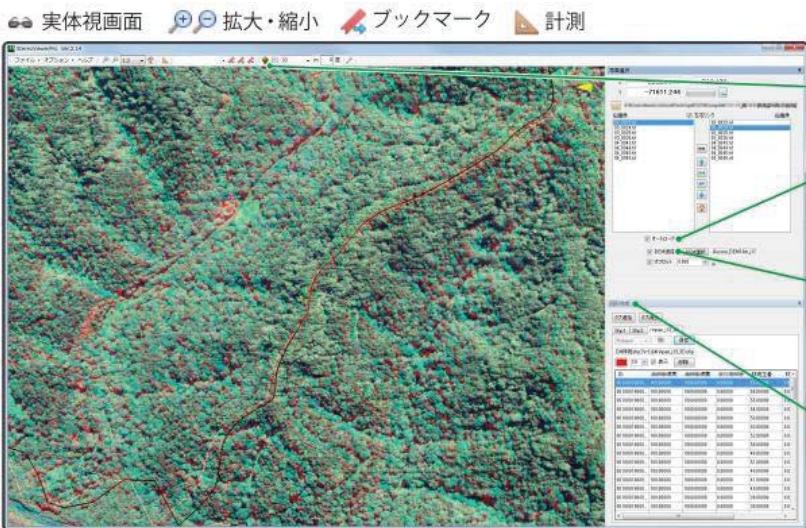
ソフト名	ArcGIS
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS
概要	ESRI 社が開発した有料の GIS システムであり、様々な形式のラスタ、ベクタに対応している。日本での導入事例は多く、日本語のマニュアルも充実しているため、習熟難易度は比較的易しい。ビューアーとしての利用のほか、簡単な解析を行うことができる。ArcGIS においても微地形表現図*の一つである「CS 立体図*」を作成する方法が公開されているため、地盤高*を所有していれば容易に作成することができる。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類）[要 Spatial Analyst] ● 林相の目視判読 ● 樹高分布図の作成[要 3D Analyst] ● 微地形表現図の作成[要 Spatial Analyst,3D Analyst] ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化
動作環境 (Ver. 10.5.1/10.5)	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU：2.2 GHz 以上。ハイパースレッディング（HTT）、またはマルチコア推奨 ● メモリ：最小 4 GB 推奨 8 GB ● 推奨グラフィックカード：ビデオメモリ/RAM の要件は 64MB（必須）、256MB 以上（推奨） ● ディスク容量：50 MB（最少） ● ソフトウェア環境：32bit,64bit 両対応
価格	<p>ArcGIS Desktop Basic 単独使用（SU）ライセンス（GIS システム本体）：390,000 円</p> <p>ArcGIS Spatial Analyst（エクステンション製品）：650,000 円</p> <p>ArcGIS 3D Analyst（エクステンション製品）：650,000 円</p>

ソフト名	ERDAS IMAGIN
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS、画像解析
概要	リモートセンシング画像解析、およびラスタ型 GIS の統合ソフトウェア。画像データ解析に特化したソフトウェアである。専門性が高いため、習熟難易度は高めである。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● オルソ画像作成 ● 光学衛星画像の大気補正 ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 森林境界の明確化
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : 64-bit: Intel 64 (EM64T) , AMD 64 または互換性のある CPU (マルチコア搭載の PC を推奨) ● メモリ : 16GB 推奨 (8GB 最小) ● 推奨グラフィックカード : NVIDIA® Quadro® K5200, K4200, K2200, K420^3 NVIDIA Quadro K5000, K4000, K600^3 ● ソフトウェア環境 : ERDAS IMAGIN 2015 まで 32、64-bit 対応。2016 からは 64-bit のみ
価格	Essentials 版(大気補正、林相の自動分類) : 700,000 円(税抜) Advantage 版 (オルソ画像作成、大気補正、林相の自動分類) : 1,190,000 円 (税抜)



ソフト名	TNTmips
会社名	MicroImages
ソフトの目的	GIS、画像解析
概要	<p>一般的な地理空間データであるラスタ、ベクタ、CAD、TIN※ オブジェクトを扱うことができる GIS システム。MySQL や Postgres/PostGIS、Oracle 等の汎用データベースの空間・属性データだけでなく、shape ファイルや LAS ファイルのような多くのフォーマットの地理データを直接扱うことが可能。</p> <p>教師付き分類、教師なし分類等の自動分類等の一般的な解析のほか、オルソ画像の作成や三次元点群データの閲覧、地盤高データの作成といった前処理に関する解析についても実施可能である。しかし、専門性の高いソフトであるため、習熟難易度が非常に高い。</p>
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● オルソ画像作成 ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 林相の目視判読 ● 樹高分布図の作成 ● 微地形表現図の作成 ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化 ● 三次元点群データ閲覧 ● 地盤高データの作成
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel Pentium4 以上、または 100%互換 PC を推奨 ● メモリ : 最低 1GB、4GB 以上を推奨 ● ソフトウェア環境 : 32bit,64bit 両対応
価格	TNTmips Pro シングルライセンス:866,160 円
 <p>The image shows a screenshot of the TNTmips software interface. It features several windows: a main map window on the left displaying a grayscale aerial image with various overlays and toolbars; a central panel with a 'ポイント' (Point) tool and other options; a right-hand panel with a histogram and a 3D terrain visualization; and a bottom status bar showing scale and zoom information. The interface is typical of a professional GIS application from the early 2000s.</p>	

ソフト名	QGIS
会社名	QGIS Development Team
ソフトの目的	GIS
概要	無償で利用できるオープンソースの GIS ソフト。ビューアーとしての利用のほか、簡単な解析を行うこともできる。また、プラグインを導入することで様々な機能を追加することができる。微地形表現図の一つである「CS 立体図※」は QGIS を利用して作成するツールが公開されており、地盤高※を所有していれば容易に作成することができる。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 林相の目視判読 ● 微地形表現図の作成 ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化
動作環境	ソフトウェア環境：32bit,64bit 両対応
価格	無料

ソフト名	StereoViewerPro
会社名	株式会社 フォテック
ソフトの目的	空中写真立体視※、森林計測
概要	これまで実体鏡を使って行ってきた立体視作業を、PC 上で簡単に行うことができるソフトウェア。特別な訓練は不要で、簡単に立体視・計測が可能。また、ベクトルデータの描画等さまざまな方法で計測・記録ができ、そのデータをエクスポートすることにより、各種 GIS ソフトで利用可能。また、複数の立体視用メガネがあれば、複数人で 3D 画面を見ることができる。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の目視判読 ● 材積推定（標準地解析） ● 森林境界の明確化
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel Core2 Duo 以上推奨 ● メモリ : 4GB 以上推奨 ● グラフィックカード : NVIDIA Quadro シリーズ ● ディスプレイ : 120Hz 表示可能なモニター ● OS : Windows 7/8/10 (32/64bit) ● 3D Vision 用機材 : 立体視用メガネ (NVIDIA 3D VISION 等)
価格	ソフトウェア本体価格 : 190,000 円 (消費税別)
 <p>※画面はアナグリフ(赤青画面)表示</p>	

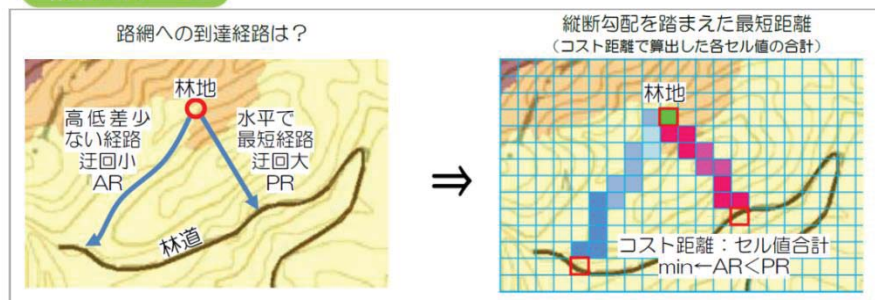
- 森林ツール
樹高・本数計測が可能です。
- オートロード
見たい位置の写真を自動的に表示します。
- DEM 追従
地形データに合わせて自動的に画面を調整します。
- 図形作成
ポイント(点)、ライン(線)、ポリゴン(面)データが 3D シェープファイルで作成できます。

参照 : <http://www.photec.co.jp/html/stereo/stereo1.html>

ソフト名	もりったい
会社名	一般社団法人日本森林技術協会
ソフトの目的	空中写真立体視、森林計測
概要	デジタル撮影空中写真を利用した森林の立体視及び解析をおこなうために林野庁事業にて開発したソフトウェア。立体視機能に加え、オルソや高さデータを利用した樹種分類、標準地解析による材積推定等を行うことが可能である。マニュアルが整備されており、習熟難易度は非常に易しい。また、複数の立体視用メガネがあれば、複数人で3D画面を見ることができる。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 材積推定（標準地解析） ● 森林境界の明確化
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel Core2Duo 以上（最新の高速なCPUを推奨） ● メモリ : 最低1GB以上（2GB以上推奨） ● ディスプレイ : 1024 × 768 以上（120Hz 対応製品） ● ビデオボード : NVIDIA Quadro シリーズ（Quadro 2000 推奨） ● ソフトウェア環境 : 32bit,64bit 両対応 ● 3D Vision 用機材 : 立体視用メガネ（NVIDIA 3D VISION 等）
価格	サポート契約:100,000 円/年(講習・立体視用ベクタデータの作成) もりったい用データ作成代行費用(必須ではない): 30,000 円(基本料金)+1,000~1,600 円/空中写真1枚(枚数により変動) ※空中写真購入費を除いた価格

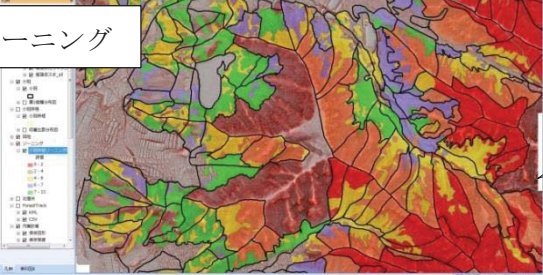


作業のイメージ




参照 : http://www.jafta.or.jp/contents/publish/6_list_detail.html

ソフト名	ALANDIS NEO FOREST
会社名	アジア航測株式会社
ソフトの目的	森林 GIS、路網検討
概要	航空レーザによって取得したデータにより森林管理をすることに特化した GIS 型のソフトウェア。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の目視判読 ● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計 ● 森林境界の明確化
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : 2.2 GHz 以上 ● メモリ : 2GB 以上 ● 推奨ビデオメモリ : 64MB (必須)、256MB 以上 (推奨) ● ソフトウェア環境 : 32bit および 64bit 対応
価格	ソフトウェア本体価格 890,000 円 5 ライセンスまで 1,250,000 円 データ作成・セットアップ費用 1,100,000 円



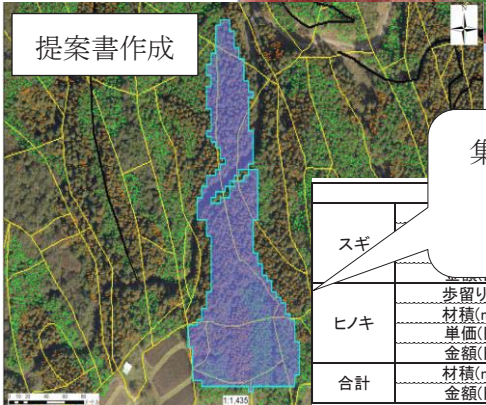
ゾーニング

小班等を点数化
⇒木材生産機能の
高い林分を評価



路網シミュレーション

縦横断面図作成
延長・土量から
工事概算を PC で
効率的に実施



提案書作成

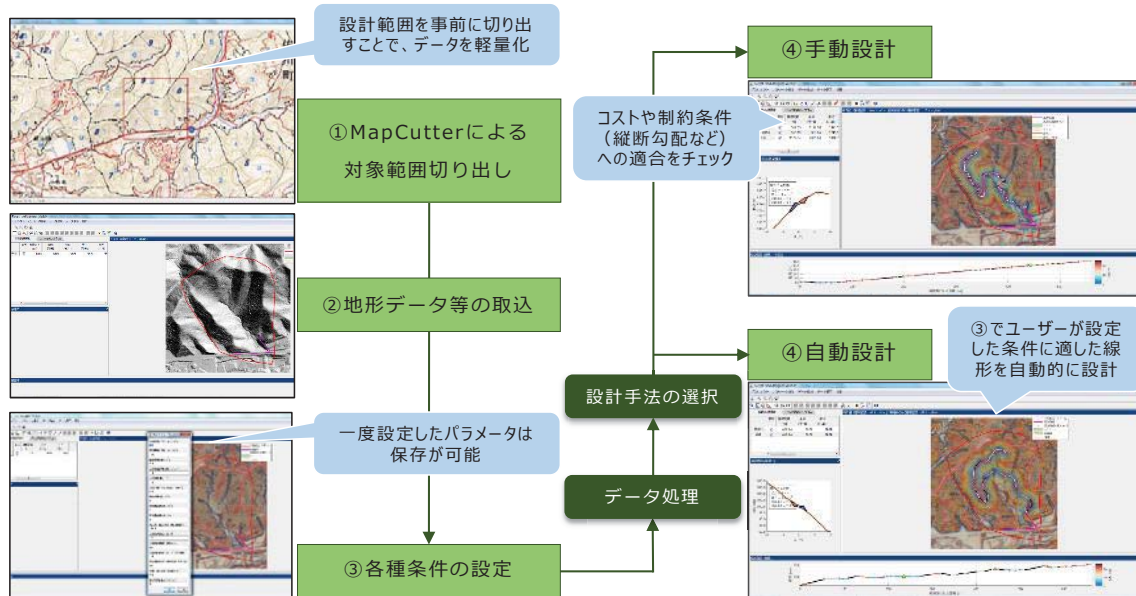
集約化促進のため
素材生産量を
レポート出力

	B材	C材	小計
スギ	50	30	—
	88.5	53.1	176.9
	7,500	4,500	—
	663,375	238,815	1,344,440
ヒノキ	60	20	—
	30.2	10.1	50.4
	8,000	4,500	—
	136,080	241,920	423,360
合計	45.5	63.2	227.3
	578,330	905,295	1,767,800

参照 : <http://www.ajiko.co.jp/product/detail/ID4T5YFVWLP>

ソフト名	FRD (Forest Road Designer)
会社名	住友林業株式会社
ソフトの目的	林業用路網設計支援
概要	航空レーザで得られた地形データを活かし、自動で林業用路網の線形案を設計できるソフトウェア。設計時に、幅員やコスト等の様々なパラメータを自由に調整可能であり、作成した線形案の横断面図や縦断面図を自動で作成し、帳票出力することも可能である。完成した線形データは shp・kml 形式で出力可能で、GIS や GNSS レシーバに取り込み、現地確認に利用することもできる。マニュアルが整備されており、習熟難易度は低い。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel Core i5 2.2GHz 以上推奨 ● メモリ : 8GB 以上推奨 ● OS : Windows7/8/10 (64bit) <p>※別途、地盤高データ（ユーザー保有のレーザ計測成果もしくは国土地理院 5m メッシュ※標高）が必要。</p>
価格	ソフトウェア本体価格：500,000 円（税別） データ整備費用：50,000 円（1 市町村単位）

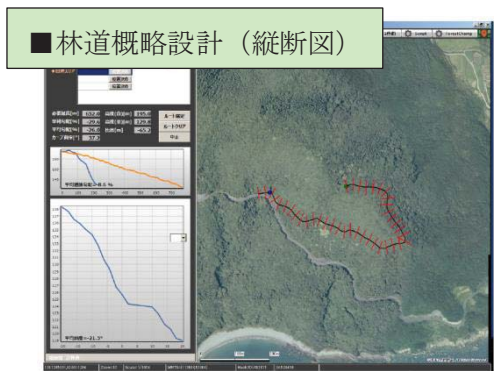
【FRDによる線形案作成の流れ】



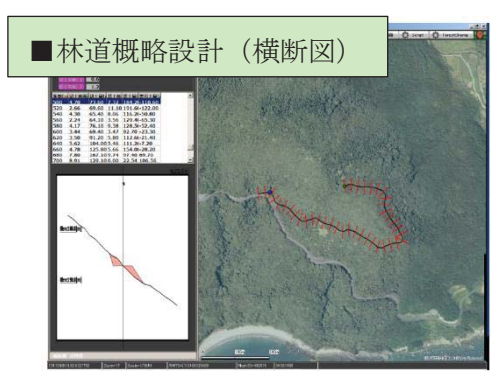
※本ソフトは、線形案作成を支援するものであり、実際の現地における開設線形の選択・決定については、各ユーザーが判断する必要がある。

参照：<http://sfc.jp/information/news/2017/2017-11-01.html>

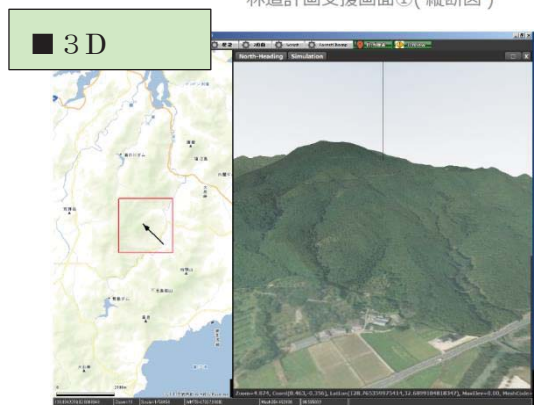
ソフト名	MAGIS (マジス)
会社名	応用地質株式会社
ソフトの目的	治山 GIS や森林 GIS 等の業務支援
概要	ベースとなる MAGIS に各種拡張機能を付加することで、治山や森林等の業務を支援する GIS 型のシステム。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 林相の目視判読 ● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計 ● 森林境界の明確化
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : 2.0GHz 以上 ● メモリ : 2GB 以上 ● OS : Windows7 以上
価格	ソフトウェア本体価格：1,000,000 円 (内容および状況による) データ作成および各種拡張機能：応相談 (内容および状況による)



林道計画支援画面①(縦断面)



林道計画支援画面②(断面図)

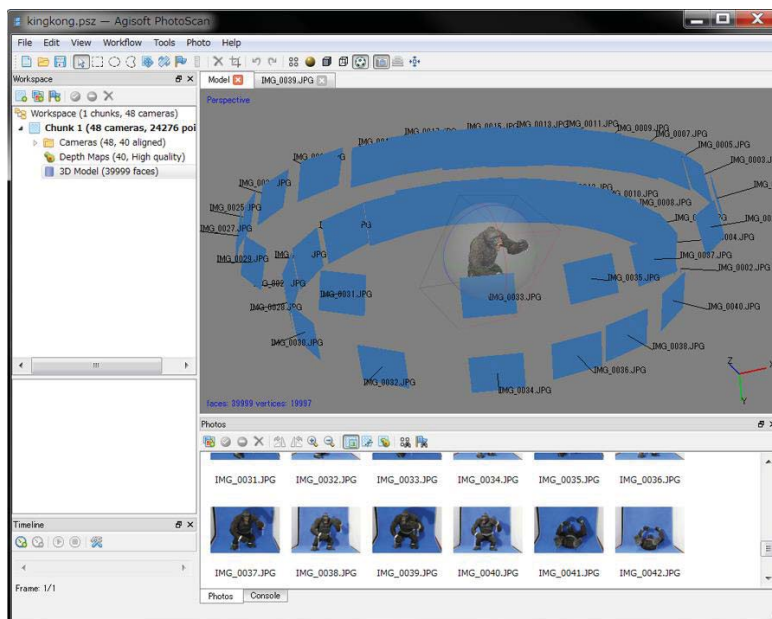


三次元表示



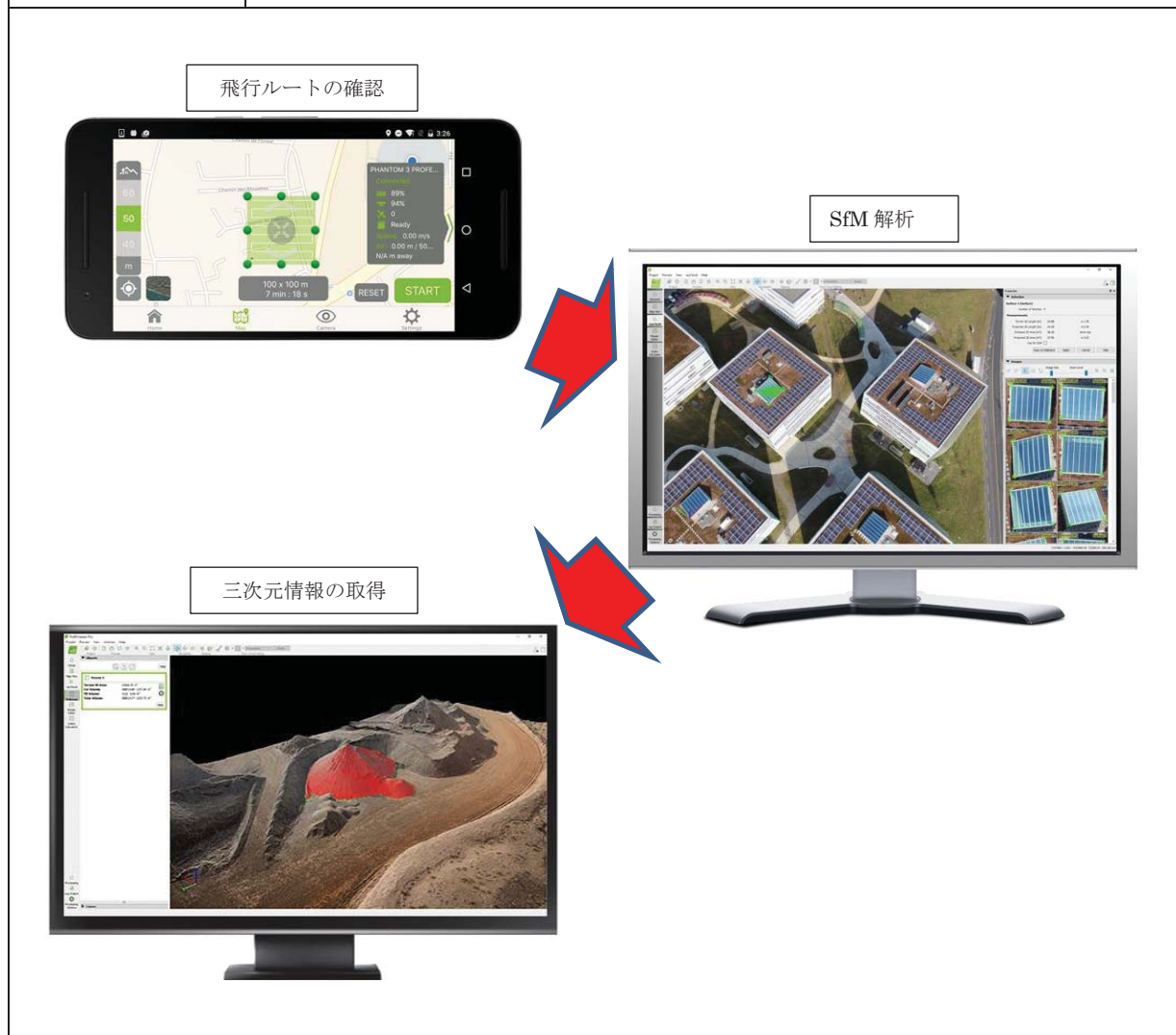
タブレット PC での操作も簡単

ソフト名	Photo Scan Professional Edition
会社名	Agisoft
ソフトの目的	SfM [※] 解析
概要	複数のラップした写真から三次元点群データおよびオルソ画像を作成するソフトウェア。いくつかの設定の後、画像のマッチング、三次元点群データの出力、オルソ画像の作成を自動で実施することができる。UAV [※] 空撮機と本ソフトウェアがあればデータの取得から前処理まで外部に委託することなく実施可能である。カメラレンズを基とした補正処理を実施しない簡易な SfM 解析ソフト。
解析可能項目	オルソ画像の作成 三次元情報の取得
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel Core2Duo 以上 (最新の高速な CPU を推奨) ● メモリ : 4GB 以上を推奨 ● グラフィックボード: GeForce 8xxx シリーズ以降 (Nvidia 社)、Radeon HD 5xxx シリーズ以降 (AMD/ATI 社) ● ソフトウェア環境 : 32bit および 64bit 対応
価格	453,600 円

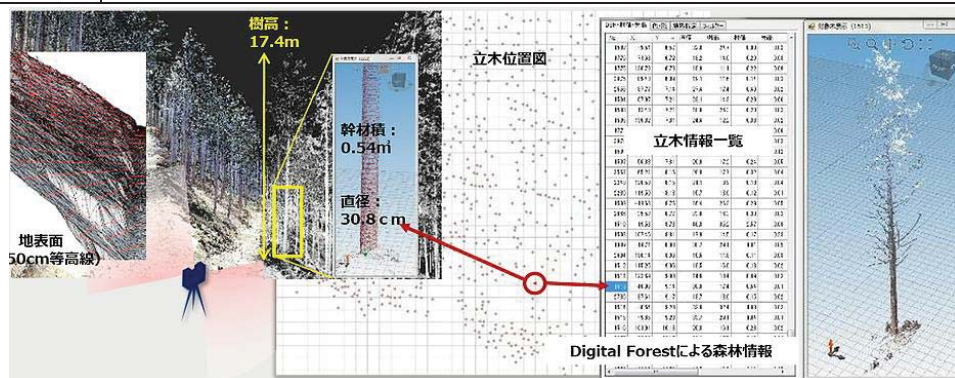


参照 : <https://oakcorp.net/photoscan/>

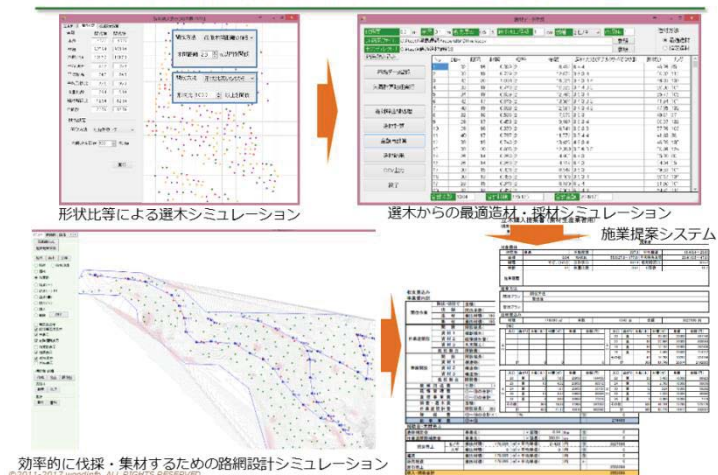
ソフト名	Pix4Dmapper
会社名	Pix4D
ソフトの目的	SfM 解析
概要	複数のラップした写真から三次元点群データおよびオルソ画像を作成するソフトウェア。いくつかの設定の後、画像のマッチング、三次元点群データの出力、オルソ画像の作成を自動で実施することができる。UAV 空撮機と本ソフトウェアがあればデータの取得から前処理まで外部に委託することなく実施可能である。カメラの機種を入力することで、レンズ情報を基とした補正処理を実行するため、高精度の SfM 解析が実施できる。
解析可能項目	オルソ画像の作成 三次元情報の取得
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : quad-core または hexa-core Intel i7/ Xeon 推奨 ● メモリ : 16~32GB ● グラフィックボード : GeForce 2GB RAM 推奨 ● ソフトウェア環境 : Windows 7,8,10 64bit
価格	1,200,000 円



ソフト名	Digital Forest Pro
会社名	株式会社 woodinfo
ソフトの目的	地上レーザデータ処理、森林解析、路網検討
概要	計測した点群の表示ができ、林内の状況を現地調査と同じような視点から確認することができる。また、単木ごとの森林資源情報、点群の確認が可能。地盤面の点群から地盤高データや等高線を作成することが可能。使用する地上レーザの機器に制限はなく、出力データとして shp ファイルや excel ファイルとする等汎用性がある。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 森林資源情報解析 (立木密度・樹木位置図・樹高・胸高直径・材積・曲がり・樹種) ● 三次元情報の取得 ● 地盤点群データ ● 新規路網の設計
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● メモリ：4GB 以上 ● ソフトウェア環境：Windows 8 64bit
価格	ソフトウェアのみ 4,320,000 円

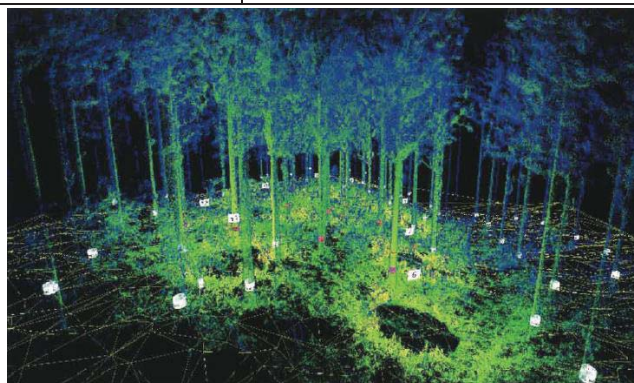


森林情報を活用した収支計画：
選木、造材、路網設計を統合した “**施業提案システム**”

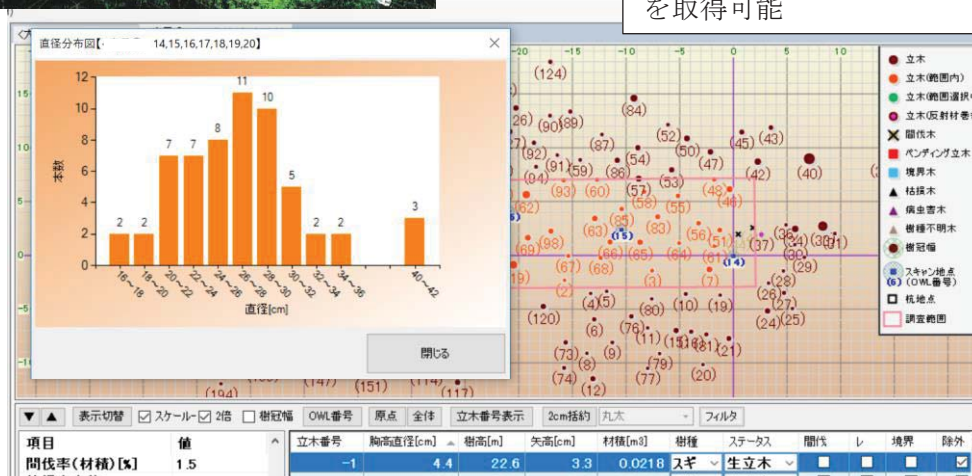


参照： <http://maple96.wixsite.com/woodinfo/digital-forest>

ソフト名	OWLManager
会社名	株式会社アドイン研究所
ソフトの目的	地上レーザデータ処理、森林解析
概要	地上レーザ計測機器OWLにより取得したデータの専用ソフトウェアである。森林解析に特化したソフトウェアであり、林内の点群の状況を表示できる。点群上に解析結果が表示でき、点群と解析結果の内容を同時に確認することができる。立木位置やスキャン地点を shp ファイルで出力可能。データの解析時間が短く、取ったデータの確認をすぐ行うことができる。
解析可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 森林資源情報解析 (立木密度・樹木位置図・樹高・胸高直径・材積・曲がり・樹種) ● 三次元情報の取得 ● 地盤点群データ
動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU : Intel core i5 以上 (Intel core i7 推奨) ● メモリ : 4GB 以上 (8GB 以上推奨) ● ディスプレイ : SXGA (1280×1024) 以上推奨 ● ソフトウェア環境 : Windows 7,8,10 64bit
価格	標準価格 (計測装置+ソフトウェア) 4,230,000 円



林内計測データを処理し、
単木ごとの森林資源情報
を取得可能



参照 : <http://www.re-forest.com/product/owl.html>

用語集

あ行

- 陰陽図

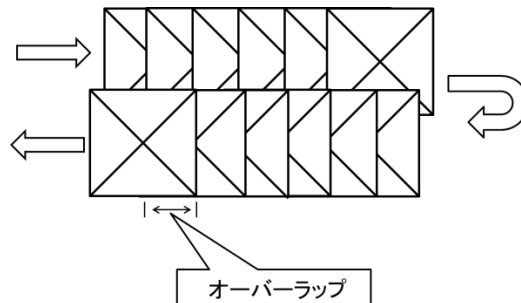
朝日航洋株式会社が考案した微地形表現図。地形の凹凸によりできる影を表現した陰陽値を基に作成する、地形を立体的に表現した微地形表現図。

- 陰影段彩図

標高の違いを表現する一つの方法として、標高に応じて段階的に色調を変化（例えば、青～赤等）させた段彩図がある。この段彩図に、任意の方向から太陽光が当たっていると仮定して、地形の影を表現した陰影を組み合わせた地図を陰影段彩図と呼ぶ。

- オーバーラップ

航空機や UAV の飛行方向における隣接した空中写真や UAV 写真の重複を指す。重複している割合をオーバーラップ率と呼び、空中写真の立体視や空中三角測量等を行う場合には最低でも 60%のオーバーラップ率が必要となる（SfM ソフトの使用には 80%が必要）。

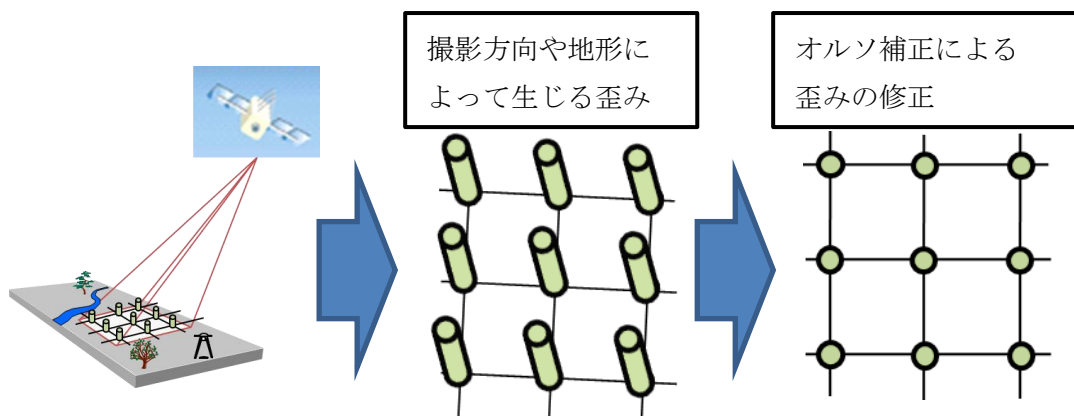


- オブジェクトベース分類

ピクセル（画素）ごとに林相进行分类するのではなく、同じような色調の範囲を一つのまとまりとして識別して区画を作成し、その区画を自動で林相判読する手法。ピクセル（画素）ごとではなく、区画ごとに分類を行うので、目視判読に近い結果が得られるという特徴がある。

- オルソ画像

中心投影や撮影方向、地形によって生じる画像の位置ズレを、三次元情報を基に位置補正した画像。正射投影画像ともいう。ここでは正射投影画像をつなぎ合わせたオルソモザイク画像を広義として含めている。



- **オリジナルデータ**

航空機等から照射されたレーザは地表物体に反射し、反射した物体の三次元情報（緯度、経度、標高）が取得できる。反射物体は地盤だけでなく、樹木や建物等も含み、様々な地表物体の三次元情報データとなり、これらの三次元情報をオリジナルデータと呼ぶ。オリジナルデータをフィルタリング処理して、地盤高や表層高を作成する。

か行

- **解像度**

画像を構成する最小単位のピクセル（画素）の縦と横の長さを表す値。解像度が 1.0m の場合、一つ一つのピクセル（画素）は 1.0m となる。一つのピクセル（画素）だけでは撮影された物体の識別は困難であり、数ピクセル（画素）をまとめて撮影された物体を識別できる。

- **外部標定要素**

写真を撮影したときのセンサ（カメラ）の位置や傾きに関する情報。

- **幾何補正**

基準となる地図や画像等との空間位置の較差を GCP により補正すること。

- **近赤外線**

波長が比較的短い赤外光。およそ 750~1,400nm の波長帯の光を近赤外線と称する。人の目で視認することができない不可視光である。

- **輝度**

光学衛星画像の各波長帯に記録されるピクセル（画素）の値。センサにより記録される値の幅が異なり、0~255（8bit）や 0~65535（16bit）等の幅があり、いずれかの値が記録されている。数値が大きいほど地表からの反射が強く、明るいことを表している。

- **クラウド**

インターネット環境下において、ユーザの手元ではなく、インターネットを介して特定領域に情報を保存して、個人または複数の人がその情報を利用する仕組み。ユーザは手元にハードディスクなどの情報記録媒体を必要とせず、インターネット通信さえあれば、情報を確認したり、共有したりできるが、情報をアップロードしたり、ダウンロードしたりするインターネット環境が必要となる。

- **傾斜区分図**

任意の範囲で地盤高を用いて、地形傾斜を計算した地図。

- **光学衛星画像**

人工衛星に搭載したセンサにより、地球上を撮影した画像。

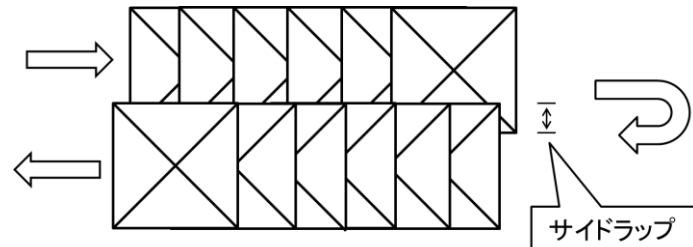
- **航空レーザ**

航空機に搭載したレーザ計測機器（レーザを用いた距離を測るための機器）から地表に向けてレーザを連続的に発射し、レーザが反射した地上物体の三次元位置情報を取得する計測技術。

さ行

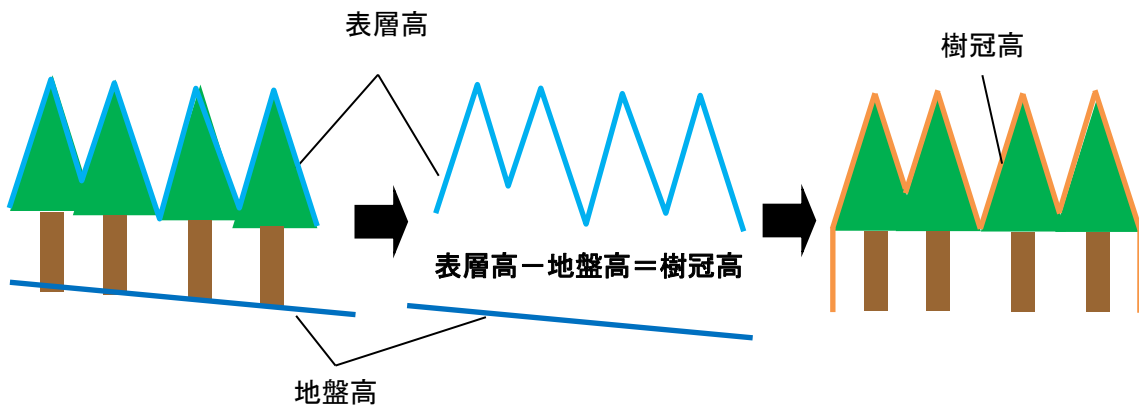
・サイドラップ

撮影コース間における隣接した空中写真や UAV 写真の重複を指す。重複している割合をサイドラップ率と呼び、空中写真の立体視や空中三角測量等を行う場合には最低でも 30%以上のサイドラップが必要となる（SfM ソフトの使用には 80%が必要）。



・樹冠高

表層高（DSM）と地盤高（DEM）の差分を計算して作成する樹冠の高さを表したデータ。樹冠高モデルや DCHM（Digital Canopy Height Model）とも呼ばれる。



・地盤高

地表を任意のメッシュに区切り、メッシュごとに地盤の高さを記録した情報。国土地理院では 5m メッシュや 10m メッシュで地盤高が公開されている。また、レーザ計測では取得したオリジナルデータをフィルタリング処理して樹木や建物等を除去し、TIN を形成したの後にメッシュ化した三次元情報。数値標高モデルや DEM（Digital Elevation Model）とも呼ばれる。

・スキャンレート

一秒間あたりのレーザ照射の振幅回数。レーザは点状に照射されることから、振幅することにより帯状に三次元データを取得することができる。なお、振幅する幅を決める要素としてスキャン角がある。

・赤色立体地図

アジア航測株式会社が考案した、傾斜量を赤色の彩度で、尾根谷度を明度として調製することで地形を立体的に表現した微地形表現図。

- **全天球写真**

全天球カメラで撮影した上下左右全方位の 360 度パノラマ写真。

た行

- **対地高度**

地表面の高度と航空機等の飛行高度の差。

- **地形判読**

空中写真や地形図等から崩壊地や地すべり跡等の地形の特徴を読み取る判読作業。

- **中心投影**

レンズの中心に光束が集まり画像が取得される撮影方法。レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、写真上の像に位置ズレ（倒れ込みともいう）が生じる。

- **ディープラーニング**

PC による機械学習で、人間の脳神経回路を模したニューラルネットワークを多層的にすることにより、PC 自らがデータに含まれる潜在的な特徴を捉え、より正確で効率的な判断を実現させる技術。

な行

- **内部標定要素**

写真を撮影したセンサのレンズの焦点距離や歪み等といった機材特性に関する情報。

は行

- **ハイパースペクトル**

複数の波長帯の電磁波を観測できる光学センサ。観測できる波長帯の数は 100 以上。

- **パルス**

レーザ計測機器より照射されるレーザ光を指す。航空レーザ計測機器は近赤外波長帯のパルスが多く、人の目で視認することはできない。

- **パルスレート**

一秒間に照射されるレーザパルス数。

- **パンクロマティック**

光学センサによるモノクロ画像（下右図）。モノクロ画像ではあるが、マルチスペクトルの画像に比べて高い解像度を持つ。マルチスペクトルの画像解像度を高めるために利用され、マルチスペクトル画像とパンクロマティック画像を組み合わせた画像をパンシャープン画像と呼ぶ。



日本リモートセンシング学会「基礎からわかるリモートセンシング」の講義用パワーポイント (<https://www.rssj.or.jp/journal/rm/>) より引用

- **バンド**

リモートセンシングで観測される特定波長帯を指す。観測波長帯が短い方から順にバンド 1、バンド 2 という形でバンドを区別する。各バンドで得られた数値情報を RGB カラー等の色調表現方法に当てはめて、カラー合成画像が作成できる。

- **ピクセル**

デジタル画像を扱うときの、色情報を持つ最小単位。画素とも呼ばれる。

- **微地形表現図**

地盤高を基に微地形の情報を表現した画像。等高線図では識別が困難な路網情報を把握することが容易にできる。

- **表層高**

森林域では主に樹冠表層面の高さを表すデータ。レーザ計測では、取得したオリジナルデータをフィルタリング処理して樹冠表層面からの反射パルスを抽出し、TIN を形成した後にメッシュ化した三次元情報。樹冠表層高モデルや DSM (Digital Surface Model) とも呼ばれる。

- **標定図**

空中写真測量で、空中写真の撮影コースと撮影番号を表した地図。

- **フィルタリング処理**

航空レーザ計測で得られるオリジナルデータから目的とする反射パルス（地盤からの反射パルスや樹冠表層面からのパルス）以外を除去する処理。

- **ベクタ**

ポイント、ライン、ポリゴン（多角形）といった図形に位置情報を付与したデータ。また、個々の図形に複数の情報を付与することもできる。GIS ソフトでは shape 形式が一般的である。

ま行

- **マルチスペクトル**

複数の波長帯の電磁波を観測できる光学センサ。観測できる波長帯の数は多くても 10 程度。

- **メッシュ**

格子状に作成されたデータの格子間隔を指す。0.5m メッシュの地盤高の場合、0.5m 間隔に高さデータ（標高値）が格納されている。

ら行

- **ラップ率**

オーバーラップやサイドラップの重複割合を指す。

- **ラスタ**

ピクセル（画素）の集合体からなる画像データを指し、空中写真のように 1 枚の画像として表現される。GIS ソフトでは tiff 形式等が一般的に用いられる。

- **立体視**

連続した空中写真をそれぞれ左右の目で、直視または機器を使用して見ることで地表を立体的に確認する方法。

- **林相識別図**

航空レーザや UAV レーザで得られた反射強度や樹冠高等を基に樹種の識別が容易になるように色づけした画像。空中写真の植生域が緑色系で表されるのに対して、豊かな色合いで林相の違いを表現できるという特徴がある。

- **林相判読**

オルソ画像やレーザ解析結果を用いて、樹種や樹齢等の森林形態について読み取る方法。

- **林分密度管理図**

一斉林の密度管理のために地域ごと樹種別に作成され、横軸に立木密度、縦軸に ha 当たりの幹材積をとった両対数のグラフ。グラフ中には胸高直径ごと、平均樹高ごと、収量比数ごとに曲線が引かれている。

A-Z

- **CS 立体図**

長野県林業総合センターが開発考案した、曲率と傾斜を基に地形を立体的に表現した微地形表現地図表現図。

- **GCP**

Ground Control Point（地上基準点）の略称。画像の幾何学的補正等に使用する画像内で座標や高さ情報が明らかになっている点を指す。空中写真や UAV 写真撮影の際には対空標識を設置し、その位置を GNSS 観測して画像の位置や高さの補正作業を行う。また、多時期の地図や画像の重ね合わせでは、既存のデータと新規取得したデータの同一点を取得し、位置を補正することもでき、この処理を幾何補正と呼ぶ。

- **GIS**

Geographic Information System の略称。地理情報システムと呼ばれており、地図が持つ情報と、その場所が持つ空間情報を重ね合わせ、視覚的に表示するシステム。

- **GNSS**

Global Navigation Satellite System の略称。GPS（アメリカ）や GLONASS（ロシア）、準天頂衛星等の測位衛星システムの総称。

- **IMU 装置**

Inertial Measurement Unit の略称。航空機や UAV のゆれ、傾き、加速度を計測する慣性計測装置。ジャイロとも呼ばれる。

- **SfM**

Structure from Motion の略称。カメラの位置姿勢と対象の座標を取得し、対象の三次元的形状を把握する方法。

- **TIN**

Triangulated Irregular Network の略称。座標や高さ情報を持つ複数の点の隣接する点を結び三角形を形成し、この三角形の集合で表現された高さを表す面的な情報。点の集合体を面情報として変換するときに使われる。

- **UAV**

Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機）の略称。人が搭乗することなく、遠隔地（地上）から操縦することができる航空機。ドローンとも呼ばれる。

参考文献

資料① 改訂版 図解リモートセンシング

- 【著者】日本リモートセンシング研究会
- 【出版社】社団法人 日本測量協会
- 【出版年月】2004年6月15日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】リモートセンシングの基礎、センサ・衛星の種類ごとの特性の違いや画像処理の補正・分類方法が記載されている。

資料② 基礎からわかるリモートセンシング

- 【著者】日本リモートセンシング学会
- 【出版社】理工図書株式会社
- 【出版年月】2011年6月11日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真・航空レーザ
- 【概要】波長の吸収・反射・透過やプラットフォームの種類・特性等のリモートセンシングの基礎が記載されている。また、大気・陸域・水域業務への利用、画像の処理や分類精度の評価方法に関して記載されている。

資料③ 現代林学講義 10 測樹学

- 【著者】南雲 秀次郎・箕輪 光博
- 【出版社】株式会社 地球社
- 【出版年月】1990年2月10日

資料④ 最新 森林航測テキストブック

- 【著者】渡辺 宏
- 【出版社】社団法人 日本林業技術協会
- 【出版年月】1993年7月20日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】森林航測の基礎的な知識をはじめ、測量・判読・航測技術に関する説明、実際の活用方法が記載されている。

資料⑤ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ 別冊 用語辞典

- 【著者】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版社】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版年月】1989年3月31日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】衛星、データの受信・処理解析、リモートセンシングに関連している中から600項目を見出しとし、その中の500項目について解説している用語辞典。

資料⑥ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ③ 画像データの処理と解析 (1)

- 【著者】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版社】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版年月】1989年3月31日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】航空・光学衛星画像処理の役割や基礎、基本的な処理方法と画像の表現方法に関して紹介。

資料⑦ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ③ 画像データの処理と解析 (2)

- 【著者】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版社】財団法人 資源観測解析センター
- 【出版年月】1990年3月31日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】航空・光学衛星画像データのスペクトル処理や空間的処理に関して記載されており、GISを用いて地理情報を併用した画像処理方法についても記載されている。

資料⑧ 実務者のためのリモートセンシングデータ処理/解析の基礎から見積書・仕様書の作成まで

- 【著者】大林 成行
- 【出版社】株式会社 フジ・テクノシステム
- 【出版年月】1995年8月19日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】衛星データの利用事例、画像の処理・解析方法に関して記載されており、見積書や仕様書作成の例が掲載されている。

資料⑨ 新編 画像解析ハンドブック

- 【著者】高木 幹雄・下田 陽久
- 【出版社】東京大学出版会
- 【出版年月】2004年9月10日
- 【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
- 【概要】画像処理に関する方法、機能、利用を中心に記載されており、アルゴリズムの知識やデジタル画像処理アルゴリズムに関しても詳しく記載されている。

資料⑩ 新編 リモートセンシング用語辞典

【著者】財団法人 資源観測解析センター
【出版社】財団法人 資源観測解析センター
【出版年月】1996年3月31日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】”資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ 別冊 用語辞典”を改善し、602語収録してある用語辞典。衛星・センサの一覧表が掲載されている。

資料⑪ 森林計測学講義

【著者】大隅 眞一
【出版社】株式会社 養賢堂
【出版年月】1987年2月10日
【掲載センサ】航空画像
【概要】立木・伐採木の測定方法、毎木調査や標本調査に基づく林分材積の推定方法、林分成長量の推定に関して記載されている。

資料⑫ 森林リモートセンシング 第4版 -基礎から応用まで-

【著者】加藤 正人
【出版社】株式会社 日本林業調査会
【出版年月】2014年4月10日
【掲載センサ】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
【概要】リモートセンシングの基礎をはじめ、航空レーザ・人工衛星を使用した森林バイオマス推定、樹種分類方法や、森林GISの自治体利用例等が記載された教材。

資料⑬ 図解 航空レーザ計測 基礎から応用まで

【著者】齊藤 和也
【出版社】財団法人 日本測量調査技術協会
【出版年月】2008年3月31日
【掲載センサ】航空レーザ
【概要】航空レーザの歴史や知識、データの収集・解析、表現方法が記されている。

資料⑭ 図解 航空レーザ測量 ハンドブック

【著者】航空レーザ測量WG・株式会社 コクサイクリエイティブセンター
【出版社】財団法人 日本測量調査技術協会
【出版年月】2004年1月
【掲載センサ】航空レーザ
【概要】航空レーザの知識や原理の説明のほか、作業の計画から計測、データの処理、加工の流れを解説した教材。分野ごとの活用事例も掲載されている。

資料⑮ 第三版 リモートセンシング・GIS データ解析実習～入門編～

【著者】露木 聡
【出版社】株式会社 日本林業調査会
【出版年月】2016年7月11日
【掲載ソフト】TNTlite (TNTmipsの体験版)
【概要】TNTliteの使用時におけるリモートセンシングデータ解析と、GISデータ解析の作業手順と内容が記載されている。

資料⑯ リモートセンシング実用講座 画像の処理と解析

【著者】日本リモートセンシング研究会
【出版社】共立出版株式会社
【出版年月】1981年5月1日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像の入手方法、眼による画像の判読方法、機械による画像の処理・解析方法が記載されている。

資料⑰ ArcGIS for Desktop 逆引きガイド 10.3.x 対応

【著者】ESRI ジャパン株式会社
【出版社】ESRI ジャパン株式会社
【出版年月】2015年12月17日
【掲載ソフト】ArcGIS
【概要】ArcGISの操作方法が掲載された逆引きガイド。

資料⑱ CAD/CG/GIS ユーザーのための航空・衛星写真画像ハンドブック

【著者】津留宏介・峰島貞治・古本秀明・馬河紘子
【出版社】株式会社 古今書院
【出版年月】2008年7月1日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像と地図の重ね方や写真図の作成方法、画像の種類と入手方法や利用・保管方法が記載されている。