IKONOS 衛星画像の導入による業務の効率化ついて

独立行政法人　森林総合研究所
森林農地整備センター
徳島水源林整備事務所
造林係主任　祐　谷　有　恒
造林係主任　木　學　良　広

１．水源林造成事業の概要と導入の背景

森林農地整備センターが行っている水源林造成事業は、昭和 36 年より奥地水源地域等の水源かん養上重要な役割を持った民有林保安林のうち、森林の機能（水源かん養等）が低下している無立木地、散生地等を対象に計画的に森林を造成する事業を行っています。具体的には、山林所有者が土地を提供し、造林者が事業の実行と管理を行い、それにかかる費用と技術的指導を徳島水源林整備事務所（森林農地整備センター）が行うといった分収造林契約を締結して実施しています。

当事務所が管轄している植栽面積は、徳島県と香川県を合わせて約 11,000ha（平成 21 年度末）となっております。さらに、Ⅶ齢級以上の造林地が約 6,000ha あり、間伐木等は木材として利用する時期に達しつつあります。よって、今までの造林事業に加えて、木材の販売を行う収穫事業が増大しているため、今まで以上に効率かつ計画的な業務が必要となっています。

そこで、平成 22 年度から３次元高解像度衛星画像インターネット配信サービス（IKONOS 衛星データ）を導入し、業務の効率化を図りました。

２．IKONOS 衛星データの精度とコストについて

今までの衛星写真は LANDSAT のような 30m×30m の分解能であったため、森林整備を行う現場までは利用できず、航空写真を用いていました。しかし、1999 年商業用に打ち上げられた高分解能衛星 IKONOS は 1m×1m の高い分解能を持っており、航空写真と遜色ありません。

航空写真は高い解像度を得られますが、低高度の場合は必然的に歪みが大きくなり、画像上での高い位置精度を得るためには、特別な図化処理や補正処理といった技術を必要とします。しかも、航空写真の撮影は飛行計画によるため、山間部については都市部に比べ新しい高解像度の航空写真が少なく、新たに撮影しなければ目的の写真が無い可能性もあります。

一方、IKONOS 衛星は高度約 680km 上空から安定した撮影が可能なため、画像の歪みは少ないです。また、山間部についても航空写真と遜色のない高い解像度の画像データを得ることができるほか、画像位置精度も 10m 程度と高く、国土地理院発行の 50m メッシュの標高データとも重ね合わせる事が可能です。

今回 IKONOS 衛星画像を閲覧するために導入した３次元高解像度衛星画像インターネット配信サービスは、Google Earth EC のソフトを利用して全国全て閲覧可能となっており、GPS

表―１　IKONOS 衛星画像と航空写真の比較

項目	IKONOS 衛星画像	航空写真
解像度	1m	0.25m
水平誤差	±10m	×
歪み	少ない	多い
更新頻度	最高１日１回	飛行計画による
価格	74 円/km^2*	4,200 円/km^2

*当整備センターが今回年間契約を行った価格は全国で約 28 百万円、全国閲覧

データといった位置情報についても、IKONOS 衛星画像の上に容易に表示することが可能です。また、国土地理院が発行している２万５千分の１の地形図から読み取った標高データより 3D 化も可能です。そして、年に１回一部の箇所の画像を更新しており、現在では 2000 年～2009 年の IKONOS 衛星画像が提供されています。

３．業務の効率化の取り組みについて

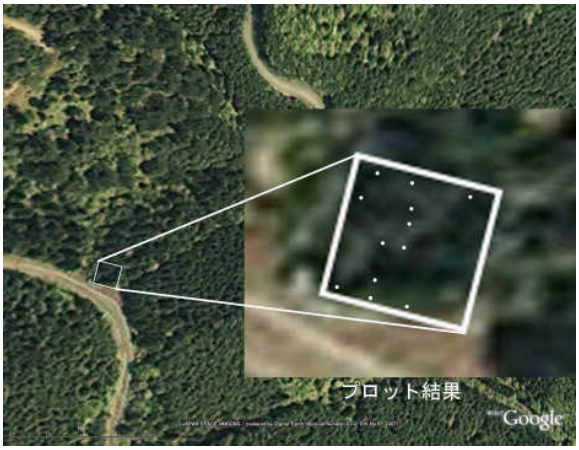
IKONOS 衛星画像を用いて業務の効率化を図るために、IKONOS 衛星画像から読み取れる造林地の現況把握と木材の有効利用を行うための 3D 化による有効性の２点について、検討を試みました。

１）IKONOS 衛星画像を用いた造林地の現況の把握

IKONOS 衛星画像から造林地の現況を把握することが可能となれば、現地での調査が軽減され、業務の効率化が図れると考えられます。そこで、まずは IKONOS 衛星画像から目視のみでどの程度情報を読み取れるか検証しました。図―１のように、架線を張った跡といったところまで確認することが可能でした。次に、目視で単木の確認が可能か検証しました。図―２のように、単木で成立している樹木や、ある程度樹冠の間隔のある道際の樹木については、単木の確認は可能でした。そして、樹木が混在している造林地について、目視で単木の確認が可能か検証しました。現地でスギ及びヒノキの区域で 10m×10m のプロットをとり立木の位置を調査しました。その結果、図―３、４のように雑木や隣接の造林木による樹冠の重なりや影のため、スギ及び

図―１　架線跡の画像

図―２　単木での樹木の確認

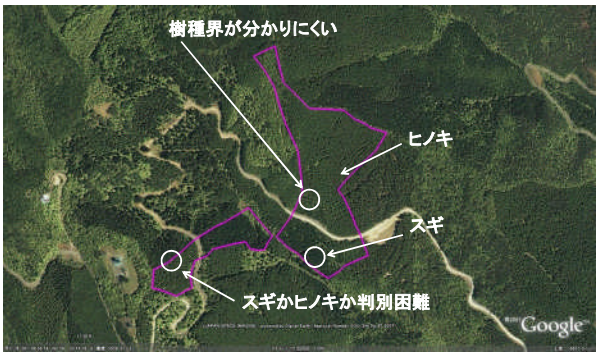


図―３　プロット箇所及び立木位置（スギ）

図―４　プロット箇所及び立木位置（ヒノキ）

ヒノキ共に単木の確認を推測することは困難でした。

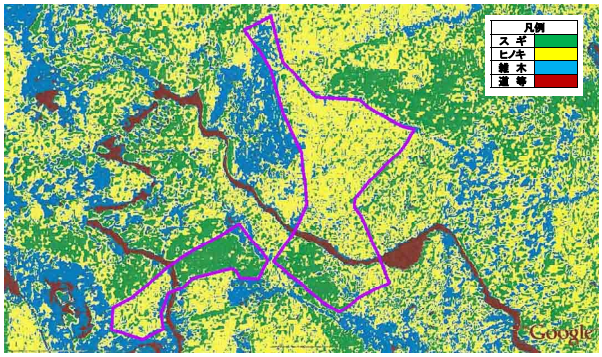
次に目視で樹種の判別を行うことが可能か検証しました。図―５のように、スギ、ヒノキと分かりやすい箇所がありました。しかしながら、樹種界が分かりにくい箇所や、スギかヒノキか判別することが困難な箇所もありました。



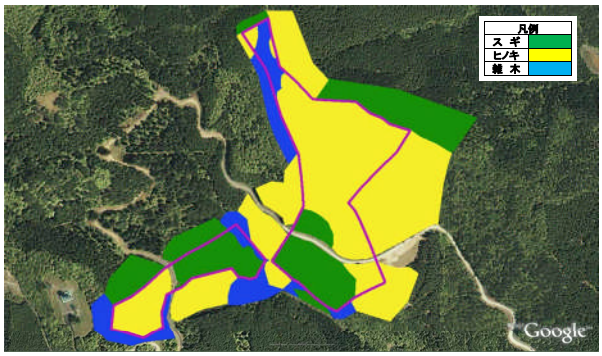
図―５　目視での樹種判別結果

２）MultiSpec を用いた樹種の判別

IKONOS 衛星画像の目視だけでは樹種の判別が困難な場合があることが判明したことから、IKONOS 衛星画像の画像情報をもとに、より詳細に樹種を判別・解析するソフト等の有無を調査したところ、米国のパデゥー大学が作成した画像解析ソフト MultiSpec をインターネット上で発見しました。このソフトは無料で提供されており、この MultiSpec を用いて IKONOS 衛星画像から樹種判別の可能性を検討しました。解析機能には、多重分光画像を利用した、①地被分類機能、②教師つき・教師なし分類、③主成分解析、④拡張統計量算出、⑤特徴抽出と特徴選択、⑥主題図作成等のほか、⑦高分光解像度画像解析の機能があります。また、利用頻度の少ないユーザーでも容易に学習・利用が可能であり、日本語マニュアルもあることから、今回使用を試みました。



図―６　画像解析の結果



図―７　現地調査の結果

図―６に画像解析ソフトで樹種判別した画像解析の結果を、図―７に契約地を GPS を用いて測量した樹種界及びその時確認できた隣接の林相について示します。図―６と図―７を比較した結果、画像解析が現地調査に近い結果となりました。しかし、一部樹種界が分かりにくい箇所については、画像解析の結果ではほとんどヒノキと判別しており、現地調査の結果と大きく違っていました。この樹種が違った原因として、スギの成立本数が少なく、広葉樹が侵入していたために誤って判別されたものと推測されます。しかしながら、他の区域については大まかな判別はできていました。このことから、画像解析と衛星画像の目視とを併用することにより、樹種判別の精度が向上しました。

３）木材の有効利用を行うための IKONOS 衛星画像の 3D 化よる有効性

近年、木材の有効利用が叫ばれており、主伐だけでなく間伐についても効率的な搬出が求められて

います。また、間伐木の搬出については、路網整備を行い、高性能林業機械で搬出を行うことが主流となっています。しかし、当事務所が管轄する造林地は奥地に位置し、地形が急峻で、路網もあまり整備されていないため、間伐木の搬出が困難な箇所が多いのが現状です。よって、路網が入らないところの間伐木の搬出については、架線による搬出を検討し、架線計画を協議する必要があります。そこで、IKONOS 衛星画像を 3D し、架線計画をシミュレーションした場合の有用性について検討を試みました。

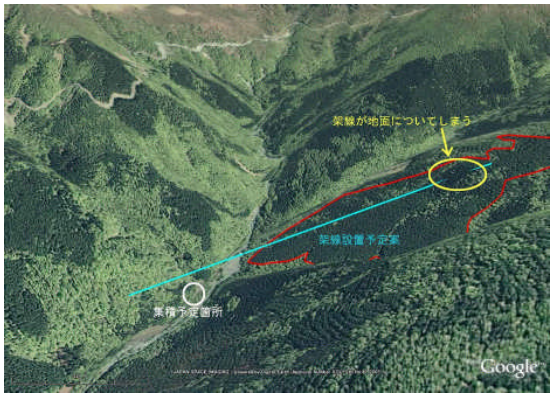
今回、間伐を計画した造林地を図―８に示します。この造林地は林道が近くを通っております。そして、造林地の奥については、地形が緩く造林木の生育も良いため、高性能林業機械を用いての間伐木の搬出が可能な区域です。しかし、林道は川を挟んで向かいにあり、造林地の下部は地形が急峻でしかも岩石地であり、林道から造林地内に作業道を開設することは困難です。よって、この急峻な箇所で架線を設置することが可能であれば、架線でとれる急な区域だけではなく、地形の緩い奥の区域についても、高性能林業機械を用いることにより、間伐木の搬出が可能になると考えました。

図―８　間伐予定区域

そこで、造林地下部の地形の急な箇所について、図―９のように地形図のみで架線計画を行いました。あらかじめ、集積予定箇所を設定し、搬出距離が短くなるように考えて設定しました。次に、この地形図で計画した架線の案を IKONOS 衛星画像上に表示し、3D 化しました。すると、地形図上において架線を張れると思い計画しましたが、図―10 のように架線上部のあたりで架線が隠れています。よって、このまま架線を計画した場合、架線が地面に接してしまうことがわかりました。このように、IKONOS 衛星画像を 3D 化することにより、視覚的に架線を設置することが可能か容易にわかりました。次に、この 3D 化した状態で、再度架線計画を行いました。図―11 のように移動させることにより、架線上部で地面に接していたところが無くなり、架線が張れるということがわかり、効率的に架線計画を立てることができました。

図―９　地形図のみの架線計画案

そして、衛星画像を 3D 化して計画シミュレーションした架線計画で、実際に現地で実行しました。図―12 のように、架線の索張りを実行

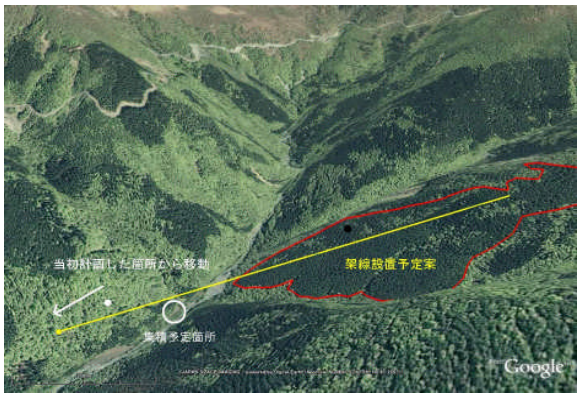


図―10　IKONOS 衛星画像を 3D 化し検証した架線

することが可能でした。表―２に間伐結果を示します。衛星画像を 3D 化し、架線の索張りが行えたことにより、手前の区域については架線で搬出し、奥の区域については、高性能林業機械（スイングヤーダ、プロセッサ及びフォワーダ）にて一度架線の上部に集積しました。そして、架線で搬出しました。つまり、搬出が困難と思われた造林地から、約 1,200m3 もの間伐木が搬出され、結果的に木材の有効利用にも繋がりました。

表―２ 間伐結果

搬出方法	架線系	車両系	合　計
間伐面積(ha)	5.50	20.17	25.67
集積本数（本）	2,363	6,075	8,438
集積材積（m^3）	341.40	844.27	1,185.67



図―11 IKONOS 衛星画像を 3D 化して再計画した架線計画案

図―12 架線での搬出状況

４．考察

以上のことから IKONOS 衛星画像を導入したことにより、IKONOS 衛星画像から読み取れる造林地の現況把握として、目視のみでも架線跡まで容易に確認することができました。また、画像解析ソフトを用いることにより、樹種判別の精度が向上しました。そして、木材の有効利用を行うための 3D 化による有用性として、容易な架線計画のシミュレーションが実現しました。また、木材の有効利用にも繋がりました。その結果、業務の効率化を図ることができました。今後、さらに IKONOS 衛星画像を用いて、より有効で効率的な事業実行が行えるように検討していきたいと思います。

５．参考・引用文献（敬称略）

（１）加藤正人編著：森林リモートセンシング　基礎から応用まで第３版
日本林業調査会　16-28　2010
（２）「日本スペースイメージング株式会社」　http://www.spaceimaging.co.jp/
（３）「農林水産研究情報総合センター」　http://www.affrc.go.jp/ja/