世界遺産白神山地における航空機レーザー計測による積雪深調査

The investigation of snow-depth with airborne laser scanner In the Shirakami-sanchi world heritage site

石岡 義則*・望月貫一郎*・三谷 歩*
洲濱 智幸*・齋藤 宗勝**・八木 浩司***
檜垣 大助****・佐藤 浩*****

*Yoshinori ISHIOKA, Kanichiro MOCHIZUKI,
Ayumu MITANI, Tomoyuki SUHAMA, Munekatsu SAITOH,
Hiroshi YAGI, Daisuke HIGAKI and Hiroshi P. SATO*

Abstract: In the Shirakami-sanchi and Yakushima world heritage site, it is important to develop suitable preservation monitoring method with a viewpoint of biodiversity. For this purpose various investigations have been conducted to clarify the forest ecosystem by collecting basic field ecosystem data. But it is not fully carried out to grasp actual forest ecosystem exactly because of inaccessibility to the monitoring site and its geo-climatological condition. In the meeting of world heritage committee of UNESCO, it is necessary to report site situation and importance of investigation. Hence it has been decided to promote the investigation and research of the both forest ecosystem for the management plan. It is important to develop a monitoring method, using rapid and economical observation method dynamically which we can achieve.

A topographic analysis study has been undertaken to understand the environmental change around Shirakami-sanchi, a world heritage site, and make contribution for the maintenance of its biodiversity. It has been understood that snow depth and topographic features may have influence on the vegetation distribution. To map these two factors, airborne sensor was flown twice, autumn and winter, to acquire necessary data, in the south slope of Shirakami-sanchi Kushiishiyama monitoring site. The topographic feature, Digital Terrain Model (DTM), was mapped using autumn data. The snow-depth was calculated by subtracting autumn DTM from winter DTM. The snow depth estimated value, which was 250mm, was verified by using observed value at Kushiishiyama meteorological observation facilities.

1. はじめに

本研究の対象地域である白神山地は、平成5年に我が国で最初の世界自然遺産として登録された。この国際的にも顕著で普遍的な価値を有する白神山地の自然

環境を将来にわたって保全していくためには、自然生態系、特にブナ林の森林構造やその動態を把握し、モニタリングで得られた結果を保全管理に反映させることが重要であるとされている。しかし、当該区域は、深い谷が密に入り組み、30度以上の急傾斜地が半分以上の地域を占めることに加え、我が国でも有数の多雪地帯であることから、従来方法による広域的な地上調査が困難な地域として知られ、自然環境の動態についても未解明な部分が多々残されていた。白神山地世界遺産地域核心地域内の斜面での10-100年程度の時間スケールでの地形変化は、水流による浸食よりも地滑り等のマスマーブメントによるものが多いと予想

* 株式会社バスコ

** 盛岡大学短期大学部

*** 山形大学

**** 弘前大学

***** 国土地理院地殻活動研究センター

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 46, NO. 3, 2007

されており、このことを検証するためには、大規模な地滑りの発生や、斜面崩壊などの微地形変化が発生しやすい場所を特定するため遷急線が緻密に再現された地形図が要求される。ところが、森林・林床に対する刈払いが規制されている本地域での従来型の現地測量は、極めて非効率で広範にわたる地形図作成は困難であり、また、航空測量による地形図の作成方法も、従来型の航空測量では林床の正確な起伏までを表現できないのが現状である。

2. 調査地域

とも本区域の大きな特徴である。

3. 検証データ

3.2 樹冠高

3.3 積雪深

図2 検証サイトの地形・樹冠高・積雪深分布図

4. 航空機レーザー計測

航空機レーザー計測にあたっては、LH システムズ社製 ALS50 (Airborne Laser Scanner) を利用し、スキャンレート37,700Hz、計測パルス数3パルス、計測間隔0.5m、基準面標高650m、対地高度1,178mの条件のもとに撮影を実施した。

本研究においては、冬季航空機レーザー計測（2006年3月10日撮影）により積雪面を計測し、落葉期航空機レーザー計測（2003年10月21日撮影）により推定された地盤高を差し引くことにより、積雪深を算出し、地形的特徴と積雪深の分布及び森林構造を概査するものとした。

5. 精度検証結果

5.1 地盤高

地盤高計測結果は、検証データに対し、±1m以内の精度(サイト1 RMSE 0.86m, サイト2 RMSE 0.45m, サイト3 RMSE 0.69m)を示し、3箇所のモニタリングサイトのうち、サイト1の検証結果に比較的影響が多く確認された(図3)。

サイト1の誤差の大きい区域では、一様に現地測量結果より航空機レーザー計測データが高い結果となった。これら観測地点は、ギャップに群生するチシマザサの植生区域であった。現地調査により計測したチシマザサの高さは2.0~2.5mであることを考慮すると、計測誤差の要因は航空機レーザーのラストパルスが、ササの中層葉基部で反射されたことによる影響と推定

図3 地盤高精度検証結果

図4 樹冠高（ブナ）精度検証結果

される。このように、チシマザサが密集する地域で地盤高が高く計測される可能性が残る。

5.2 樹冠高

DSM と DTM（地盤高）の差分によって算出される樹冠高は、ブナの樹冠高計測結果（計測本数 $n=19$ ）に対して $\pm 1\text{m}$ 程度の精度であった（図4）。誤差要因としては、周囲の高木によるレーザー光の遮断が挙げられた。本研究では、落葉後に計測された DSM を利用し、前述したような精度を得ることができた。これは、ブナの枝が密生し、落葉後も樹冠部でレーザー光の反射が確認されたためである。ホノノキのような枝張りの少ない樹木の場合には、落葉期の DSM による樹冠高の推定は困難である。

5.3 積雪深

積雪については、櫛石山気象観測施設における2006年3月10日平均積雪深3,672mm に対して推定積雪深3,420mm を示した。GPS 計測の誤差を考慮し、近隣10m 程度に位置するメッシュ杭の推定積雪深について

も比較材料とした。近隣3地点の推定積雪深は、3,240mm（地点D0、地点名称は図2参照）3,420mm（地点E0）、3,110mm（地点F0）、という結果を示し、日平均積雪深3,672mm に対して $-252\sim-562\text{mm}$ の較差を示した。

積雪深推定にあたっては、地盤高推定の較差も含む。櫛石山気象観測施設周辺では、チシマザサの密集は確認されないが、密集する地域では実際の積雪より低く推定される可能性が残る。秋山・佐藤（平成18年）は、新潟県中越地方芋川流域において、裸地かつ平坦な33箇所においてスノーサンプラーを用いた積雪深を実測し、これを正としてレーザー積雪深（本研究と同様の手法で推定した積雪深）と対比した結果、その較差は786mm $\sim$ 353mm、較差の標準偏差は228mmであったことを報告していることから、本研究で報告した範囲での較差はあったものと推定される。

6. 積雪と地形因子、森林構造の検討

豪雪地帯であり比較的急峻な地形が展開する白神山（図5）では、雪崩による立地阻害など、積雪がブナ林に与える影響が大きい。そこで、地形因子として、DTM（地盤高）から谷地形と尾根地形を抽出し、樹冠高や積雪深と比較検討を行った（図6）。地形区分の作成にあたっては、はじめに DTM から地点ごとの流下方向を算出する。流下方向算出にあたっては、1.5m $\times$ 1.5m メッシュ内に隣接する8方向から最も落差の大きい方向を算出し、対象地点が範囲内最小値である場合は、平滑化処理により最も落差の小さい方向を流下方向として割り当てるものとした。流下方向が決定されることにより、集水域内の水の流れが決定される。

尾根地形の例（樹林帯の疎・密な箇所）

谷地形の例

図5 白神山地積雪写真（八木浩二，齋藤宗勝，牧田 肇（平成10年））

図6 積雪分布図と高木（樹冠高20m以上）分布図

図7 積雪深分布断面図①

図8 積雪深分布断面図②

ここで、地点ごとに上流域から集水するピクセル数(≒集水面積)を算出し、集水面積が大きい地点が連結される地点では、谷地形が抽出される。続いて、流域面積を定義することによって、流域界データを作成する。本研究においては、対象地域を適当な数に区分することによる尾根線の抽出を目的とするため、比較的中規模な流域を対象とした10haを流域面積とするものとした。また、集水線(≒谷線)の抽出に利用される条件は、集水面積が1ha以上の地点とした。

地盤高、樹冠高、積雪面の断面図を示す図7(図6中の断面)は、風雪による東西斜面の積雪深の差異が明瞭に認識される。南北方向に尖鋭な尾根を形成する場合、冬季においては、西斜面の雪が風圧の影響で東斜面に押し出され、斜面方位による積雪深の違いが定量的に確認できた。また、図8(図6中の断面)では、摩須賀岳(図1)に代表される谷地形では、吹きだまりの影響で高木が生育していない。

本研究において確認された森林形態と地形区分・積雪深の関係を以下にまとめる。

- (1) 尖鋭な尾根の周辺部では、20m以下の中低木が生育するが多い(図6, 7)。
- (2) 急峻な斜面に囲まれる谷部では、冬季の「雪崩」や「吹きだまり」の影響で樹木が高木となりにくい

(図6, 8)。

7. おわりに

白神山地に形成されるブナ林は、比較的急峻な地形上に展開し、台風、風雪、更には斜面崩壊等の様々な要因により、倒木や幹折等が絶えず繰り返されている。そのため、ブナ林の動態を調査するためには、多面的観点からのモニタリング、並びに情報管理が必要とされる。環境省 東北地方事務所(平成10~14年度)においては、環境情報を的確に収集することに加えて、動植物への影響を最小限に抑えるため、モニタリング項目ごとに適正な調査時期や回数が規定され、地盤高推定に代表される広域モニタリング手法の開発が急務であると指摘された経緯がある。本研究では、航空機レーザー計測によって地形、樹冠高、積雪深を作成し、森林動態の解明に活用できることが示された。今後は、各主題図の推定精度を高めるとともに、適切な撮影頻度と撮影時期の検討から効率的なモニタリング技術を確立することが必要である。

謝 辞

本研究は、環境省東北地方事務所(平成15~17年度)により実施した。ここに記して謝意を表す。

(受付日2007.3.7, 受理日2007.5.11)

参考文献

- 環境省 東北地方事務所(平成15~17年度), 白神山地におけるブナ林の森林構造及び動態の解明に関する調査研究業務報告書。
- 環境省 東北地方環境事務所(平成10~14年度), 白神山地世界遺産地域の森林生態系保全のためのモニタリング手法の確立と外縁部の森林利用との調和を図るための森林管理法に関する研究報告書。
- 八木 浩二, 齋藤 宗勝, 牧田 肇(平成10年), 白神の意味, 自湧社。
- 秋山 實・佐藤 浩(平成18年), 航空レーザー測量による積雪深分布の計測と積雪相当水量の推定, 写真測量とリモートセンシング, 45(2), 24-33。