

D-0805 航空レーザ測量データを用いた景観生態学図の作成と生物多様性データベース構築への応用

(1) 詳細地形データを用いた景観生態学図作成に関する研究

国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室 小荒井 衛
乙井 康成
中埜 貴元
(現在 国土交通省国土地理院地理空間情報部電子国土調整官) 佐藤 浩

平成20～22年度累計予算額 22,422千円 (うち、平成22年度予算額 6,561千円)
予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 原生的自然環境として世界自然遺産に認定されている知床半島を、また里山環境として古くから「たたら製鉄」により地形と植生の改変が行われてきた中国山地を対象に、航空レーザ測量によりルーチン的に景観生態学図を作成する手法を検討した。活葉期と落葉期の2時期の航空レーザ測量データを使用して、詳細DEM(数値地形モデル)解析による傾斜、凸度、尾根谷密度に着目した自動地形分類図と、植生の三次元構造(植生高、植生層構造、葉群構造等)を捉えたレーザ植生図を作成し、オーバーレイ解析を行うことで両者の関係を解析した。その結果、知床半島羅臼岳では植生は微地形よりも標高に影響されていることが判った。一方、中国山地道後山北麓では鉄穴流し跡地でオニグルミが卓越すること、詳細DEMの尾根谷密度の数値から鉄穴流し跡地が抽出できる可能性があることを指摘した。上記の解析結果を踏まえ、2地区で植生分類と地形分類とを組み合わせた景観生態学図の作成およびその作成手法のマニュアル化のための検討を行った。

景観生態学図のグリッドサイズは、毎木調査の樹冠の大きさから4mとした。羅臼岳については、シカの食害の実態等が把握できるように枝下高が4m以上の箇所を重ねて表示し、登山者の多い岩尾別側登山道については現地計測に基づく登山道荒廃度を表示した。知床岬については、シカの不嗜好性草本であるハンゴンソウが広がっている状況を把握しやすいよう、草地を植生高で2分し高茎草本(ハンゴンソウ等)を重ねて表示した。道後山北麓については、鉄穴流し跡地では1mグリッドDEMから求めた尾根谷密度が0.4前後となることから、尾根谷密度が一定の数値となる範囲を「人工改変の可能性あり」として表示した。作成した景観生態学図は、シカの食害や登山道の荒廃が問題となっている知床半島や、たたら製鉄に伴う地形・植生改変が行われてきた中国山地の、生物多様性保全戦略を検討する上でベースマップとなるものである。

[キーワード] 航空レーザ測量、景観生態学図、生物多様性、自動地形分類、植生三次元構造

1. はじめに

生物多様性を評価する上では、単に種の分布や自然の劣化度を捉えるだけではなく、地形という場の条件を理解した上で、その上に存在する生態系を捉える景観生態学的な視点が重要である。そのような視点で考えた場合、航空レーザ（LIDAR: Laser Imaging Detection and Ranging. LiDAR: Light Detection and Ranging ともいう）計測技術を活用して、高密度で高精度な数値標高モデル（Digital Elevation Model: DEM. Digital Terrain Model: DTM ともいう）や植生の三次元構造（植生高や葉群構造）を把握し、対象地域の自然状態をよりミクロなレベルで捉えることが期待されている。

世界自然遺産地域などの原生的自然環境と人為の影響を受けた里山環境の2地域において、航空レーザ測量によりルーチンの景観生態学図を作成する手法を開発する。特に、航空レーザ測量データによる詳細なDEMの解析による微地形の抽出、航空レーザ測量データで得られた植生の三次元構造を組み合わせて、両地域において景観生態学図を試作する。そして、生態系の場としての地形の役割について考察し、微地形とその地域にとって特徴的な植生との関連性の解明を行う。研究対象地域として、原生的自然環境として世界自然遺産に認定されている知床半島と、里山環境として古くからたたら製鉄に伴う地形改変と植生改変が行われてきた中国山地を取り上げた。

2. 研究目的

本研究では、航空レーザ測量データとリモートセンシング画像等を組み合わせて、ルーチンの景観生態学図を作成する手法を開発することを目的とする。そして、原生的自然環境地域においては、航空レーザ測量データにより作成した景観生態学図にシカの食害により変化してきた植生の三次元情報を付加して、生物多様性保全戦略策定に向けて景観生態学図が重要な基盤情報となることを示す。里山環境地域については、著しい地形改変と植生変遷との関係を明らかにする景観生態学図を作成し、人間による自然環境への著しい干渉行為が地域の野生生物の生息環境に対してどのような影響を与えているかの検討に、景観生態学図が有用であることを示す。

3. 研究方法

（1）知床半島での航空レーザ測量データを用いた景観生態学的研究

1) 調査地域の概要

羅臼岳は、知床半島の中央部にある標高1,660mの火山である。羅臼岳には西のウトロ（岩尾別）側と東の羅臼側の2つの登山道がある。2つの登山道とも登山道に沿う植生は標高の低い方から高い方に、トドマツ、ミズナラ、エゾイタヤ・イタヤカエデ、ダケカンバ・ナナカマド、ハイマツ帯、裸地と変化している。ハイマツ帯よりも下には、ウトロ側の極楽平（羅臼岳の北西側）や羅臼側の屏風岩下方に火砕流により形成されたと考えられる平坦面があり、風雪によって矮小化したダケカンバが生育している。羅臼側登山道のハイ松原から里見台にかけては、比較的樹径の大きなミズナラ林やトドマツ林が存在している。以上の現地状況から、より樹径の大きな樹林があり樹種も豊富な羅臼側登山道沿い（図1-1）を新規航空レーザ計測範囲とした。

2) 航空レーザ測量データの取得

活葉期（着葉期）のデータとして、2008年9月5日に羅臼岳南東麓の羅臼側登山道に沿った里見台から屏風岩にかけての幅1km、長さ4kmの範囲（図1-1）を対象に、航空レーザの新規計測を行

った。センサ名ALS50 (Leica Geosystems社製) で、50cm密度で計測するために、作業対象範囲の標高に合わせて2種類の高度から航空レーザ計測を行った。一つは、対地高度1,219 m、スキャン角度10°、パルス周波数56,000Hz、スキャン周波数62Hzである。もう一つは、対地高度1,676m、スキャン角度10°、パルス周波数47,000Hz、スキャン周波数54Hzである。1m²あたりレーザパルスの反射データが4点以上あるようにデータ取得されており、0.5mグリッド間隔のデジタル表層モデル (Digital Surface Model: DSM) とDEMを作成した。

落葉期のデータは、国際航業 (株) が2004年6月6日と同年10月19日に計測した2mグリッドのアーカイブデータを使用した。6月計測は、センサ名ALS50 (Leica Geosystems社製)、対地高度2,133m、スキャン角度25°、パルス周波数33,600Hz、スキャン周波数22Hzである。10月計測は、センサ名Rams System (Enar Quest社製)、対地高度1,981m、スキャン角度25°、パルス周波数24,000Hz、スキャン周波数22Hzである。

3) レーザ植生図の作成と現地検証

活葉期と落葉期のランダムポイントデータの様相の違いの有無から、落葉樹と常緑樹の区別が可能である。また、DSMとDEMの差分から植生高を、レーザパルス反射点の断面から葉の繁っている範囲 (樹冠厚) を求めることが可能である。この3点に着目して、羅臼岳南東麓において航空レーザ測量データから植生三次元構造を反映したレーザ植生図を作成した。

基本的な考え方は小荒井ほか (2007) ²⁾の方法を用いている。活葉期は0.5mグリッド、落葉期は2mグリッドとグリッドサイズが異なるが、2mグリッドのデータは落葉期の植生高算出のみでしか使用していない。よって全体の三次元植生データは、活葉期の高密度データの利点を活かし、1mグリッド単位で作成することにした。

レーザ植生図と現地の植生との対応付けのため、羅臼側登山道沿い4箇所において毎木調査を実施した (図1-1)。調査サイトは標高の高い方からサイト1~4とした。サイト1は第二の壁北西方に位置した矮小なダケカンバ純林で、10m×20mの範囲。サイト2は第一の壁東南方のミズナラ低木純林で、10m×20mの範囲。サイト3はハイ松原南方のミズナラ巨木にトドマツが混じる針広混交林の複層林で、10m×50mの範囲。サイト4は里見台北方のミズナラ巨木にトドマツが混じる針広混交林の複層林で、トドマツの幼木がかなり多く混じっており、10m×50mの範囲。各サイトで樹冠投影図と林帯側方図を作成し、航空レーザ測量データと比較検証を行った。

各サイトの方形区の四隅の位置は、DGPS受信機を三脚に固定して静止状態で測定した。各樹木の立木位置は、四隅から電子コンパスとレーザ距離計により、距離と方位角を計測して求めた。以上のことから樹木の位置精度は1~2m程度と考えられる。

各樹木については、樹種の判定を行い、幹の周囲長、樹高、樹冠下高 (枝下高)、樹冠幅を計測した。樹高は低木については測棒による目視計測、中高木はVERTEX (レーザ計測により、測点からの樹木の距離と測点からの樹頂の見通し角から樹高を測定する装置) を用いて計測した。

4) 地形解析と地形と植生とのオーバーレイ解析

地形分類に使用した地形データは、数値地図50mDEM、落葉期の航空レーザ2mDEM、活葉期の航空レーザ0.5mDEMである。解析の内容は、岩橋 (1994) ³⁾やIwahashi and Pike (2007) ⁴⁾

の手法に基づく、傾斜、凸度（半径10グリッドの円内（すなわち314グリッド）のラプラスアンフィルター（エッジ検出や先鋭化に用いられる二次微分フィルター）をかけて求めた凸型グリッドの数比）、尾根谷密度（半径10グリッド円内（すなわち314グリッド）のArcGISのエッジ平滑化処理斜面に対して元地形が尾根又は谷と判断したグリッドの数比；「テクスチャ」とも呼ぶ）の3つの地形要素に着目した解析である。それぞれのDEMで自動地形分類を行った。

従来のDEM解析の研究では地形図の等高線から取得された50mや25mグリッドサイズが使われてきたので、航空レーザ測量による1mDEMという詳細なDEMが粗いグリッドサイズと比べて、地形要素としてどのような特徴を有するかを明らかにする必要がある。そのため、粗いDEMの代表として国土地理院が全国整備している数値地図50mDEMを取り上げ、航空レーザ測量により取得した詳細DEMと比較して、解像度の異なるDEMにより傾斜、凸度、尾根谷密度の各地形要素がどのように変わるのかの特徴を把握した。また、自動地形分類の結果を、環境省2.5万分1現存植生図や1mグリッドレーザ植生図とオーバーレイ解析（重ね合わせ解析）し、地形と植生との関連性の検討を行った。

（2）中国山地での航空レーザ測量データを用いた景観生態学的研究

1）調査地域の概要

中国山地では古くからたたら製鉄にとまなう「鉄穴（かんな）流し」が多くの地域で行われてきた。鉄穴流しとは江戸時代から明治時代にかけて行われてきた鉄の採掘手法で、花崗岩が強風化したマサ土が磁鉄鉱を大量に含むため、採掘現場で軟らかなマサ土の山を崩し、そのマサ土を流水で流すことで比重選鉱して、製鉄に必要な磁鉄鉱を取得する方法である⁵⁾。そのため、著しく地形が改変され、大量の土砂が河川に流出した。また、製鉄に必要な燃料炭の取得のため、森林伐採も広い範囲で行われ、植生環境も大きく変化した。

調査地域は鳥取県の南西部の日南町（図1-2）で、町内の随所に鉄穴流しの痕跡が残されている。町内には樹林に覆われた円形の小丘が点在しているが、これが鉄穴流しの削り残しである「鉄穴残丘」である。このような景観が、鳥取県西部から島根県奥出雲地域にかけての中国山地の至るところで見られ、典型的な里山景観の一つとなっている。

2）航空レーザ測量データの取得

2008年11月14日、道後山北麓地域約25km²において落葉期の航空レーザ計測を行った。プラットフォームはCESSNA C208、レーザ測距装置はLeica Geosystems社製のALS50 II、基準面の対地高度は800～1,500m、対地速度64m/s、パルス頻度70,000Hz、スキャン頻度42Hz、スキャン角16度、サイドラップ30%以上で、1m²に1点以上の計測密度で計測した。同時に、Leica Geosystems社製のデジタルカメラRCD105による撮影も行った。

また、2009年8月18日と22日に、道後山北麓地域約2km²で活葉期の航空レーザ計測を行った。プラットフォームはCESSNA C208、レーザ測距装置はLeica Geosystems社製のALS50、基準面の対地高度は3,500ft、対地速度56m/s、パルス頻度55,500Hz、スキャン頻度58Hz、スキャン角16度、サイドラップ50%以上で、1m²に4点以上の計測密度で計測した。同時に、Spectrum Mapping社製のデジタルカメラMex Vueによる撮影も行った。

3) レーザ植生図の作成

以上のデータを基に、落葉期の1mグリッドのDSMとDEM、活葉期の0.5mグリッドのDSMとDEMを作成した。そして活葉期の0.5mグリッドの航空レーザ測量データと落葉期の1mグリッドの航空レーザ測量データを組みあわせ、2時期のデータの差分から常緑（もしくは着葉）と落葉の区分、植生高、樹冠厚、単層と複層の区分等を行い、植生三次元構造を反映した植生図（レーザ植生図）を作成した。

4) 地形解析と地形と地質・植生とのオーバーレイ解析

地形情報については、落葉期の1mDEMを使った地形解析を行った。解析の内容は知床半島と同様に、岩橋（1994）³⁾やIwahashi and Pike（2007）⁴⁾の手法に基づく、傾斜、凸度、尾根谷密度の3つの地形要素に着目した解析である。また、景観生態学図作成の検討には地形と植生以外に、地質などの自然情報も加味する必要があるため、地質調査所（現産業技術総合研究所）の5万分1地質図「多里」⁶⁾をデジタイズしたデータを使用して、傾斜、凸度、尾根谷密度の大小と地質との関連性を検討した。また、自動地形分類の結果を、1mグリッドレーザ植生図とオーバーレイ解析し、地形と植生との関連性の検討を行った。



図1-1 羅臼岳の航空レーザ計測範囲

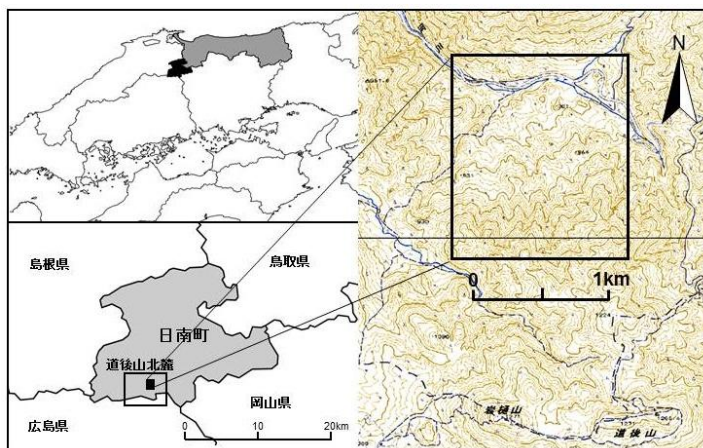


図1-2 道後山北麓の航空レーザ計測範囲

(3) 景観生態学図の作成、生物多様性データベースの構築、マニュアル化

両地区の景観生態学的検討結果を踏まえ、景観生態学図を作成した。また、景観生態学図作成に必要な生物多様性に関するデータについて、データセット化を行った。また、上記の検討結果を踏まえ、航空レーザ測量データを用いた景観生態学図の作成手法のマニュアル化を進めた。

4. 結果・考察

(1) 知床半島（羅臼岳）における景観生態学的研究

1) ランダムポイントデータの様相

活葉期のランダムポイントデータを横断面図上に展開し、2箇所（図1-1に示す）で二次元断面図を作成した。屏風岩下方の平坦地（断面1）の二次元断面図（図1-3）をみると、点群の高さ方向のバラツキが小さいことから低木が分布していることが判る。樹冠と地表面の2層のデータ分布が見られる箇所（図1-3の丸の箇所）は単層林である。ハイ松原から里見台にかけての登山道沿い（断面2）の二次元断面図（図1-4）をみると、樹木表層面と地表面の間に点群が分布している。これは、高木の樹冠の下に中木、低木が存在する複層林である。地表面のデータ分布しかみられない箇所（図1-4の丸の箇所）はハイ松原のハイマツ地である。

2) レーザ植生図の作成

羅臼岳のレーザ植生図の森林区分の考え方を図1-5に、アルゴリズムを図1-6に示す。

植生高1.5m未満を裸地・草地・ハイマツ地とし、それ以外を樹林とした。環境省の2.5万分1現存植生図における代表的な4つの森林植生の分布域について、航空レーザ測量データによる植生高のヒストグラムを作成し、4m、8m、11mにピークがあることを確認した（図1-7）。そのため、それぞれのピークが植生高区分に対応するように、1.5m以上6m未満を低木、6m以上10m未満を中木、10m以上を高木と3区分した。また、図1-7でトドマツ・ミズナラ群落の植生高を見ると植生高7m以上の割合が高いこと、対象とする森林が山中の傾斜地に分布しており、航空レーザ測量の水平位置の違いによる植生高の計測値の差を無視できないことから、植生高が7m以上で活葉期と落葉期の植生高の差が3m未満のものを常緑樹、それ以外を落葉樹とした。従って、常緑樹には低木を設定していない。

落葉樹で落葉期の植生高が5m以上有るものは下層に常緑樹がある複層林、落葉期の植生高が5m未満は単層林と判断した。従って、原理的には落葉樹複層林には低木は存在しないことになる。このような手法を差分法と呼ぶ。また、高木については、樹冠厚10m以上を樹冠厚が厚い、10m未満を樹冠厚が薄いとして細分した。なお樹冠厚については、レーザパルス数が多い方が正確に厚さを求めることができるので、2mグリッド単位で求めて、1mグリッドに分割した。

以上を組み合わせると、植生を11に分類することができる。以上のアルゴリズムで作成した、1mグリッドの植生三次元構造を反映した羅臼岳南東麓のレーザ植生図を図1-8に示す。現地の状況は標高の高い方から、ダケカンバの矮小低木、ミズナラの低木、ミズナラの高木、そしてミズナラにトドマツが混じるようになり、トドマツが優勢になっていくので、羅臼岳南東麓のレーザ植生図は、概ね適切に分類されているものと見なすことができる。

3) レーザ植生図の検証

羅臼岳南東麓で作成したレーザ植生図の分類妥当性を、環境省2.5万分1現存植生図とのGISによるオーバーレイ解析や、毎木調査サイトを設定して作成した樹冠投影図との比較により検証した。

①. 現存植生図との重ね合わせ解析

1mグリッドのレーザ植生図と環境省平成17年度調査の2.5万分1現存植生図との重ね合わせ解析を行った。クロス集計の結果の内、現存植生図の植物群落別にレーザ植生図の11区分の面積を

表示したものを図1-9に示す。全体的な傾向は、ダケカンバ群落、ササダケカンバ群落、ミヤマハンノキ群落は落葉単層林の中低木に、エゾイタヤミズナラ群落は落葉単層林の中低木か樹冠の薄い常緑樹の高木に、トドマツミズナラ群落は落葉単層林の中木や常緑樹の高木に該当するものが多い。

図1-8のレーザ植生図を現存植生図と見比べると、全体的な印象は概ね一致している。しかしながら、クロス集計を行うと、必ずしも現存植生図の植物群落とレーザ植生図の11区分とが1対1に対応するわけではない。例えば、裸地・草地・ハイマツ地は本来樹木系の群落に誤分類されることはないはずであるが、現存植生図では広い面積がエゾイタヤミズナラ群落、ササダケカンバ群落やミヤマハンノキ群落などとされている。その原因としては、レーザ植生図は1mグリッドと細かい単位で樹木レベルの植生三次元構造から植生区分されているのに対し、現存植生図はより広い地域的まとまりで植物社会学的に群落区分されているためと考えられる。すなわち、現存植生図で植物社会学上森林系の群落に区分されるエリアの内、上方が開けた樹木のないグリッドの部分が、レーザ植生図では裸地・草地・ハイマツ地に分類されているものと考えられる。実際に図1-8中に赤丸で示してあるハイ松原は、現存植生図では全域コケモモハイマツ群落となっているが、実際にはハイマツ地に数本の樹木が存在しており、レーザ植生図ではその部分は落葉単層低木のグリッドとして区分されている。

②. 毎木調査サイトでの検証

4つある毎木調査サイトの内、サイト4の樹冠投影図にレーザ植生図の樹種区分を重ね合わせたものを図1-10に示す。これらを見ると、レーザ植生図が概ね現地の樹木の高さ方向の重なり具合や平面的な疎密の状況を反映していることがわかる。

樹冠投影図とレーザ植生図をオーバーレイし、1mグリッド単位でクロス集計した。レーザ植生図は、各グリッドの植生分類結果や植生高、樹冠厚等の計測値を用いた。樹冠投影図は、各グリッドに重なる最も上層の樹冠について、樹種、樹高、樹冠厚の計測値を用いた。

サイト1と2は、それぞれダケカンバとミズナラを主体とした樹高の低い単層林である。それぞれのクロス集計結果を表1-1、表1-2に示す。毎木調査では、落葉樹単層の中低木しか無かったが、レーザ植生図でも落葉樹単層の中低木にしか区分されなかった。樹冠投影図で樹木の存在しない箇所は、原理上は裸地・草地・ハイマツ地になるはずであるが、レーザ植生図では大半が落葉樹単層に区分されている。サイト1では、22グリッド中2グリッドしか、サイト2では47グリッド中6グリッドしか裸地・草地・ハイマツ地に区分されていない。現地では上空が開けていても、レーザパルスが上空の何かに反射して樹木と判断してしまっている可能性が高い。現地調査の結果では、該当箇所の上空には枝葉が存在しており、樹冠投影図では表現し切れていない細かな枝振りを、航空レーザのレーザパルスが反映しているものと考えられる。毎木調査における落葉樹単層低木については、サイト1で164グリッド中134グリッドが、サイト2では33グリッド中26グリッドがレーザ植生図でも落葉樹単層低木とされており、いずれも80%程度の正答率である。一方、毎木調査における落葉樹単層中木は、レーザ植生図では低木に区分されているものが多い。これは、レーザ植生図の1mグリッドが樹冠の大きさと比べて細いため、1つの樹冠に該当するグリッドが多く存在するが、樹冠の中心部ではその樹木の高さを正確に反映しているのに対し、樹冠の縁ではそのグリッドのレーザパルスが正確に樹冠で反射していても低くなってしまい、低木と判断するケースが多いためと推察できる。レーザ植生図のグリッドサイズを、樹冠の大きさに

対応したサイズに変更すると、この部分での正答率は増加するものと予想される。

サイト3と4は、現地の状況は針広混交林の複層であったが、こちらのクロス集計結果は表1-3～1-6に示す。レーザ植生図の凡例が11あり、その組み合わせが複雑になるため、ここでは2時期のレーザデータの差分から判断した落葉樹か常緑樹か、単層か複層かの区分を基にクロス集計した結果（表1-3, 表1-5）と、1時期のランダムポイントデータの空間分布から判断した植生高と樹冠厚を基にクロス集計した結果（表1-4, 表1-6）に別けて考察する。樹冠投影図で樹木のない箇所が、レーザ植生図で樹木に区分されているものが多い傾向は、サイト1、2と同様である。毎木調査における常緑樹は、サイト3では228グリッド中142グリッドが、サイト4では177グリッド中135グリッドがレーザ植生図でも常緑樹とされており、正答率が5割を超えている。一方、毎木調査における落葉樹に関しては、サイト3では211グリッド中104グリッドが、サイト4では325グリッド中160グリッドが、レーザ植生図では常緑樹と判断している。従って、常緑樹は概ね常緑樹と判断したものが多いが、落葉樹は常緑樹と判断したものが多いことを示している。活葉期と落葉期の植生高差が3m以上のものを落葉樹としたが、2時期の植生高差が3m未満の落葉樹が多く存在していたことになる。植生高については、毎木調査における高木がレーザ植生図では中低木に区分されているものが多い。これはサイト1や2で見られた傾向と同様で、高木の樹冠の縁のグリッドでは実際にレーザパルスの反射箇所の高さが低いので、中低木と判断するケースが多いためと推察できる。樹冠厚については、毎木調査で樹冠が薄いとされる高木はレーザ植生図でも樹冠の薄い高木に区分されるものが多いが（サイト3では212グリッド中63グリッド、サイト4では209グリッド中100グリッド）、毎木調査で樹冠の厚いとされる高木は、レーザ植生図では樹冠の薄い高木に区分されるものが多い（サイト3では197グリッド中、樹冠が薄い高木が107グリッドで厚い高木は43グリッド。サイト4では209グリッド中、樹冠が薄い高木が100グリッドで厚い高木は79グリッド）。これは、樹冠の厚い樹木の場合、樹冠の上部のみでレーザパルスが反射して、樹冠の下部では余り反射しないため、レーザのランダムポイントデータの断面を見た場合、実際の樹冠よりも薄く判断してしまう傾向があるのかもしれない。

③. レーザ植生図の改良方策の検討

原生的自然環境である羅臼岳については、現存植生図と比較すると概観的には適切に区分されており、林分構造を適切に捉えていると考えられるが、毎木調査結果との比較では、落葉単層林では精度良く林分構造を捉えているが、針広混交林の複層林では、植生によっては5割以下の正答率であった。正答率が低い要因としては、落葉樹の複層林が常緑樹と区分されてしまう傾向、実際の樹木の計測結果と比べて、レーザで捉えた植生高が低めに、樹冠厚が薄めに出る傾向が考えられる。ただしこれらは、現地計測による正解データを樹木単位より小さい単元で取得することができないので、やむを得ないことであると考えられる。樹冠単位でレーザ計測した場合には、樹冠範囲内の最大値、最小値で植生高や樹冠厚を計測するしかないが、グリッド単位で見た場合には樹冠の一部を見ていることになるため、航空レーザ測量で捉えた植生高や樹冠厚が、そのグリッドの範囲内では適切に捉えられていると考えられる。

グリッドサイズが樹冠の大きさよりも小さいため、一つの樹冠内でも、異なる植生区分が混在することになる。生物多様性を評価する上では、一つの樹木の中では植生区分が統一されていることが望ましい。そのためには、レーザ植生図のグリッドサイズを樹冠サイズに対応したグリッドサイズまで大きくして、その中で植生区分を統一化した方が良いと考えられる。

4) 地形解析と自動地形分類図

0.5m、2m、50mDEMの傾斜、凸度、尾根谷密度のヒストグラムを作成した（図1-11）。傾斜のグラフを見ると、ヒストグラムの最頻値が0.5m、2mDEMは35° 付近、50mDEMは25° 付近であること、ヒストグラムが変化する点が0.5m、2mDEMは15° 付近、50mDEMは10° 付近であることが分かった。そのため、0.5m、2mDEMは傾斜15° 未満を緩傾斜、15° 以上35° 未満を中傾斜、35° 以上を急傾斜とした。50mDEMは傾斜10° 未満を緩傾斜、10° 以上25° 未満を中傾斜、25° 以上を急傾斜とした。

凸度、尾根谷密度は、最頻値が平均値に近いことから、平均値で区切ることとした。DEMに基づき傾斜を3分類（急・中・緩）、凸度を平均値で2分類（凹・凸）、尾根谷密度を平均値で2分類（粗・密）し、それらを組み合わせて地形を12分類した。2mグリッドDEMの自動地形分類の結果を図1-12に示す。

50mDEMと2mDEMによる自動地形分類同士と、2mDEMと0.5mDEMによる自動地形分類同士のオーバーレイ解析を行った。0.5mDEMと2mDEMの方が、2mDEMと50mDEMよりは、地形分類結果は良く一致し、同一のグリッドが同じ地形分類に区分される割合が高かった。傾斜については、0.5m、2mDEMと50mDEMとでヒストグラムに違いが認められ、グリッドが大きいと同じ地形でもより平坦に分類される傾向がある。それに対し、凸度はグリッドの大きさにあまり影響を受けていない。尾根谷密度について見てみると、0.5m、2mDEMはほぼ同じ形のヒストグラムを示すが、50mDEMは頂点の位置が他の2つのDEMよりも値が大きい方（0.42）にずれている。また、50mグリッドでは0.50～0.52の辺りでグリッド数が減少している。

このように尾根谷密度のヒストグラムがDEMの解像度によって大きく異なる傾向は、小荒井（2008）⁷が磐梯山について10mグリッドと50mグリッドで自動地形分類を行い、それらを比較した際にも指摘している。

5) 地形と植生のオーバーレイ解析のクロス集計

①. 50mDEMによる自動地形分類と2.5万分1現存植生図ポリゴンとのクロス集計

調査対象地域ではササ - ダケカンバ群落とエゾイタヤ - シナノキ群落が多いが、エゾイタヤ - シナノキ群落はササ - ダケカンバ群落と比べて、緩傾斜地よりも中・急傾斜地に生えている割合が大きいことがわかった。

②. 2mDEMによる自動地形分類と1mグリッド植生図とのクロス集計

クロス集計結果によるレーザ植生分類毎の自動地形分類の占有率を図1-13に示す。多くの植生が中傾斜に集中したが、研究対象地域の中傾斜の割合が大きいことが原因と考えられる。その中で、落葉樹（複層林）と常緑樹は、緩傾斜に少なく、急傾斜の割合が多い特徴が見られた。

自動地形分類と植生分類との関連性については、落葉樹単層林であるダケカンバ林が、他の植生と比べて緩傾斜な地域に卓越する傾向があるが、調査地域の中の標高の高い部分に火砕流平坦面があり、そこがダケカンバの純林となっている影響が大きいと考えられる。よって、羅臼岳の植生は地形よりは標高に影響されている可能性が高い。

6) 知床半島の景観生態学的研究のまとめ

2時期の航空レーザ測量データから、落葉樹と常緑樹の区分、植生高、樹冠厚、単層と複層の区

分に着目し、原生的自然環境である羅臼岳南東麓において、植生三次元構造を捉えた植生図（レーザ植生図）を作成した。相観的には標高に応じた植生区分状況を良く反映した結果になっている。しかし、毎木調査サイトによる樹木毎の比較を行うと、落葉単層林では精度良く林分構造を捉えているが、針広混交林の複層林では、項目によっては5割以下の正答率であった。そのため、樹冠の大きさに対応したグリッドサイズまたはポリゴンサイズで航空レーザ測量データをまとめ直す必要があることがわかった。

また、詳細なDEMによる自動地形分類と植生三次元構造を反映した植生分類との相互関連性についてオーバーレイ解析した結果、羅臼岳の植生は微地形よりも標高に依存している可能性が高いことが示された。

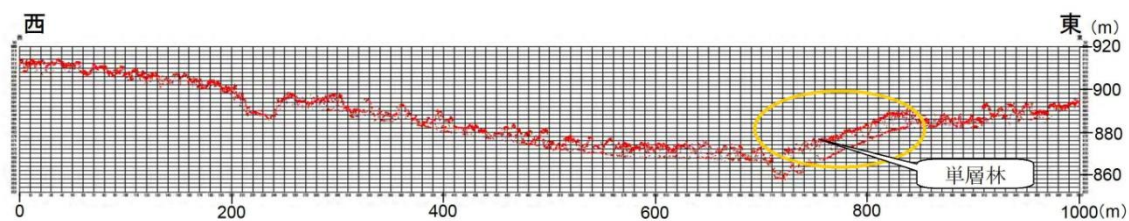


図1-3 断面1の二次元断面図 横軸は基点からの距離 (m)、縦軸の数字は標高 (m)

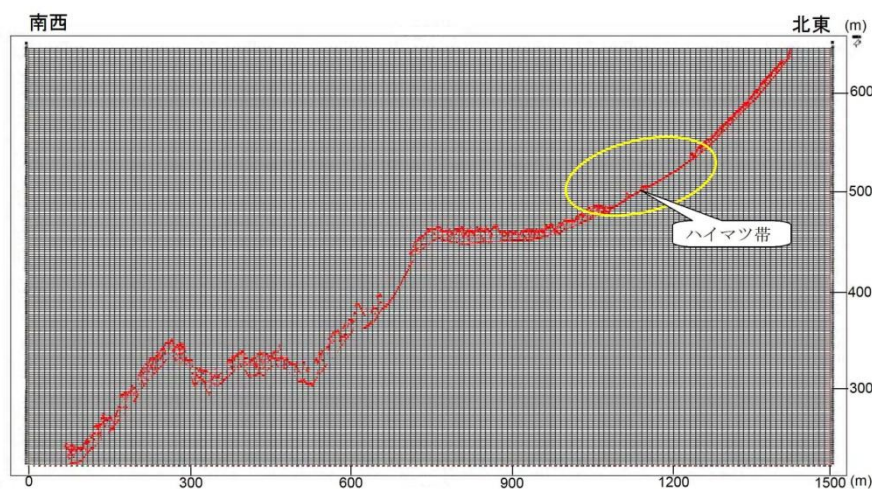


図1-4 断面2の二次元断面図 横軸は基点からの距離 (m)、縦軸の数字は標高 (m)

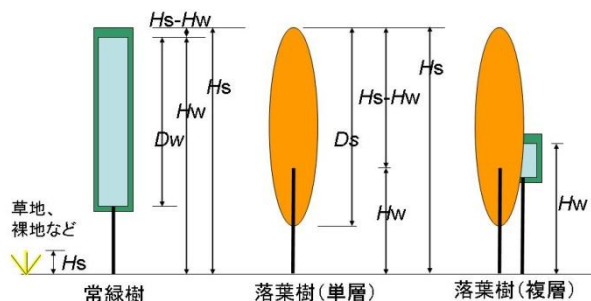


図1-5 レーザ植生図の森林区分の考え方

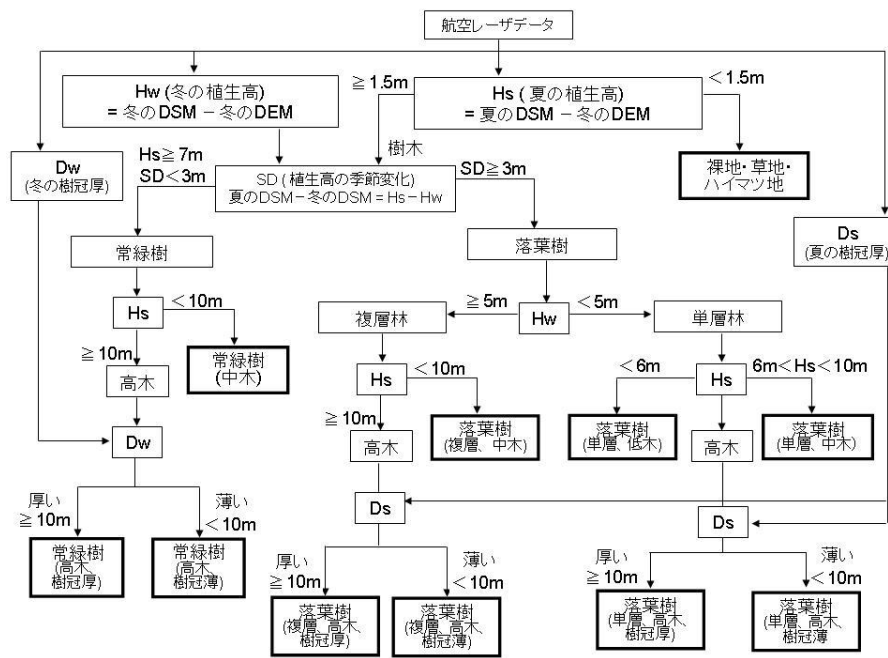


図1-6 羅臼岳のレーザ植生図作成のアルゴリズム

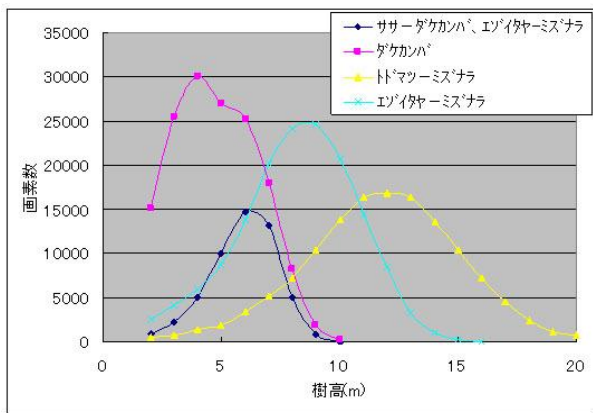


図1-7 代表的植生群落の植生高ヒストグラム

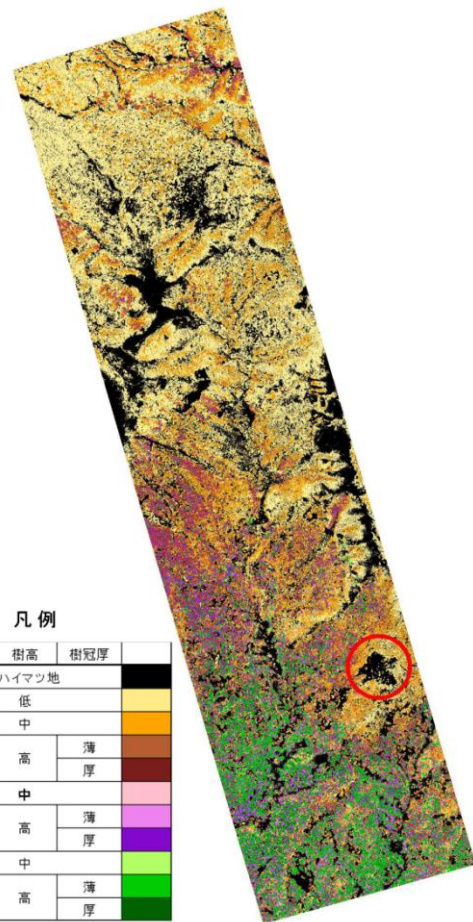


図1-8 羅臼岳南東麓のレーザ植生図

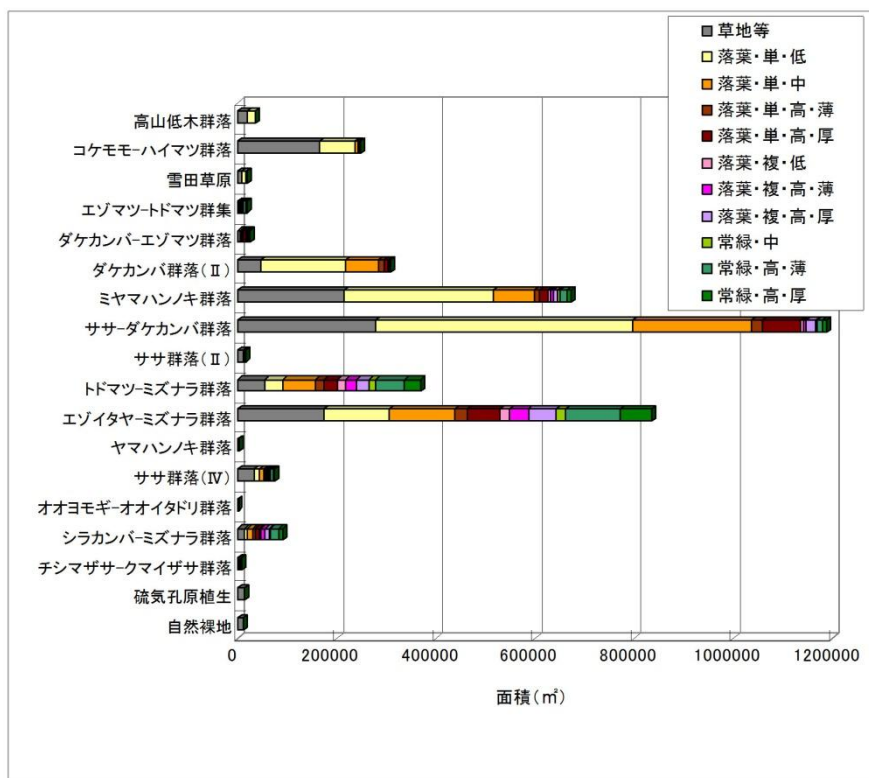


図1-9 植物群落別レーザ植生区分面積

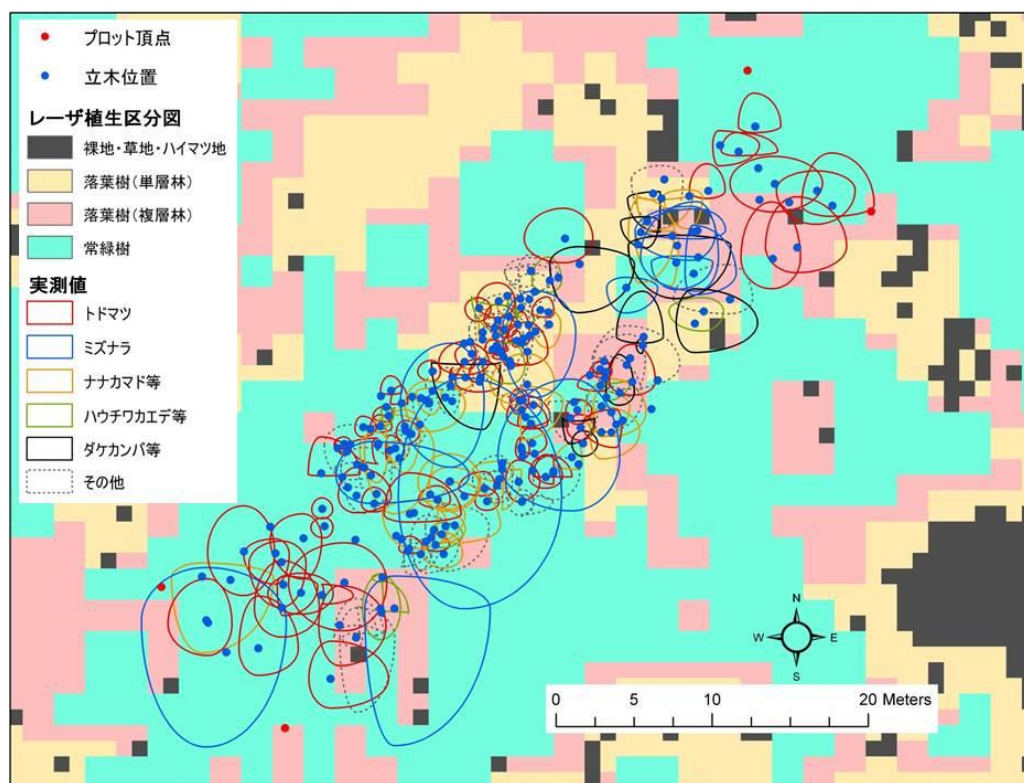


図1-10 樹冠投影図とレーザ植生図の重ね合わせ (サイト4)

表1-1 サイト1でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果

		レーザ植生図		
		草地等	落葉・単・低	落葉・単・中
毎木調査	樹木無	2	15	5
	落葉・単・低	11	134	19
	落葉・単・中	5	34	13

表1-2 サイト2でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果

		レーザ植生図		
		草地等	落葉・単・低	落葉・単・中
毎木調査	樹木無	6	22	19
	落葉・単・低	0	26	7
	落葉・単・中	15	63	61

表1-3 サイト3でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果 (林層区分関係)

		レーザ植生図			
		草地等	落葉・単	落葉・複	常緑
毎木調査	樹木無	6	14	17	22
	落葉・単	—	—	—	—
	落葉・複	4	51	52	104
	常緑	9	36	41	142

表1-4 サイト3でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果 (植生高区分関係)

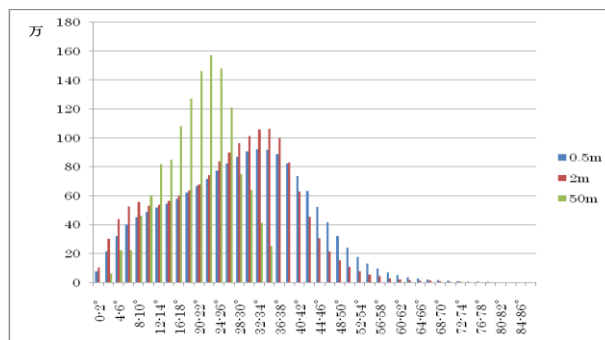
		レーザ植生図			
		草地等	中低木	高木・薄	高木・厚
毎木調査	樹木無	6	16	17	20
	低木	0	0	2	7
	中木	0	1	15	5
	高木・薄	10	78	63	61
	高木・厚	3	44	107	43

表1-5 サイト4でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果 (林層区分関係)

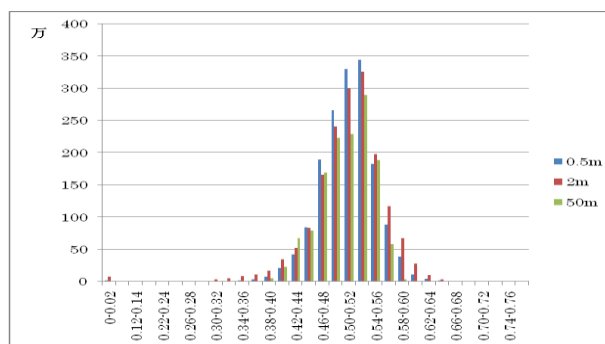
		レーザ植生図			
		草地等	落葉・単	落葉・複	常緑
毎木調査	樹木無	5	16	23	54
	落葉・単	—	—	—	—
	落葉・複	5	96	64	160
	常緑	1	5	36	135

表1-6 サイト4でのレーザ植生図と毎木調査のクロス集計結果 (植生高区分関係)

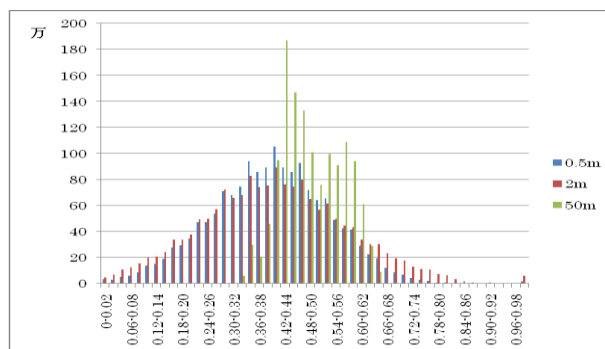
		レーザ植生図			
		草地等	中低木	高木・薄	高木・厚
毎木調査	樹木無	5	29	41	23
	低木	0	5	14	2
	中木	0	19	25	19
	高木・薄	2	50	100	57
	高木・厚	4	26	100	79



(a) 傾斜のヒストグラム



(b) 凸度のヒストグラム



(c) 尾根谷密度のヒストグラム

図1-11 羅臼岳の傾斜・凸度・尾根谷密度の各グリッドサイズのヒストグラム比較 (0.5mグリッド数を基準として2mは16倍、50mは10000倍のグリッド数に換算)

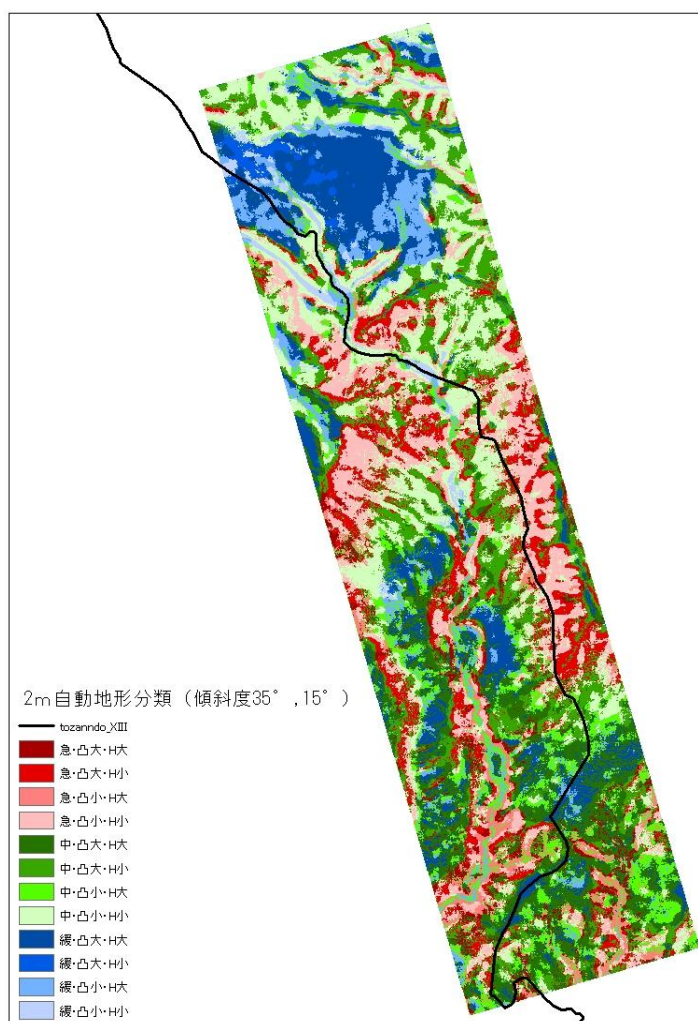


図1-12 2mグリッドDEMの自動地形分類結果

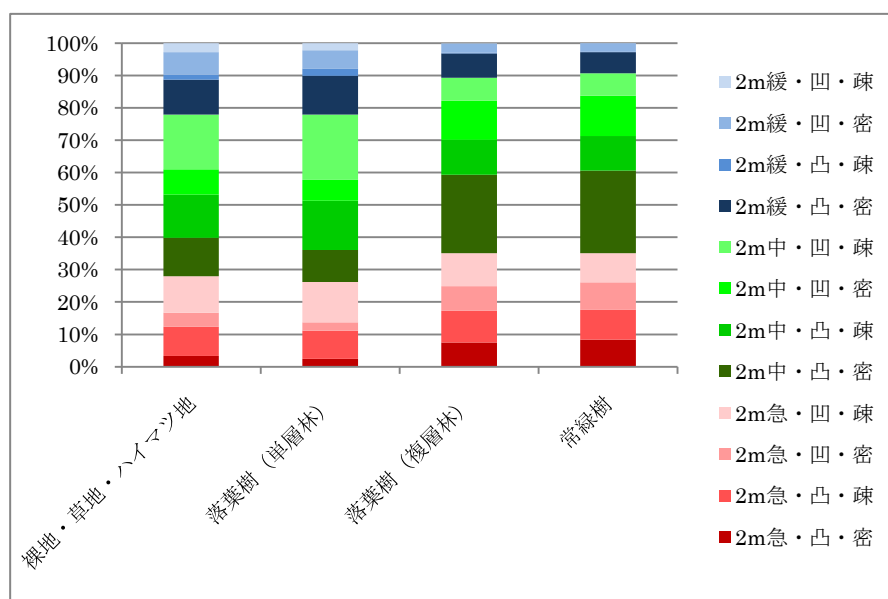


図1-13 レーザ植生図と2mDEMによる自動地形分類とのクロス集計

(2) 中国山地（道後山北麓）における景観生態学的研究

1) 詳細地形データから見た鉄穴流し跡地の地形的特徴

道後山北麓の出立山について、落葉期1mグリッドDEMから作成した1m間隔の等高線図を図1-14に示す。図1-14を見ると、不規則な小丘が数多く見られる。これらは花崗岩が強風化したマサ土で構成されており、一部新鮮な花崗岩も混じっているが、鉄穴流しの削り残しである鉄穴残丘と推定される。沢の傾斜が緩くなり小扇状地状に土砂が堆積した場所がいくつかあるが（図1-14のA、Bなど）、緩傾斜地形の規模は河川の最上流部の割には比較的大きなものである。周辺の残丘とは人為的に削られた急傾斜で接している。この緩傾斜部分はかつての鉄穴場であった可能性が高い。これらの場所には、ほぼ例外なくオニグルミ（*Juglans mandshurica Maxim. var. sieboldiana*）が優占する樹林が成立している。AやBの緩傾斜部分内に、より小さな小丘状の高まりが航空レーザ測量データから作成した等高線から読み取れる。現地調査では、これらの小丘はマサ土ではなく礫が堆積したものであり、鉄穴流しで発生した不要な礫等を積み上げた人為的な地形ではないかと想像される。また、AやBの下流部には、自然な地形とは考えにくい深く抉れた谷地形が存在する（図1-14のC、D）。この地形は、鉄穴場のマサ土を下流の河川に排出するために掘られた水路と考えられる。

2) レーザ植生図作成

落葉期の航空レーザ計測と同時に撮影したデジタルオルソ画像と、前日の11月13日に鳥取大学が撮影した地上写真を図1-15に示す。スギなどの常緑樹は緑色に、クリ・シデ類、コナラなどの落葉広葉樹は紅葉のため黄色や赤色に、オニグルミは既に落葉していたため灰色になっている。

落葉期の航空レーザ測量データのDSMとDEMの差分から植生高を求めると、まだ落葉していないクリ・シデ類等で植生高が高く、既に落葉してしまったオニグルミで植生高が低くなる。そのため、活葉期と落葉期の植生高の差分をとっても、着葉している落葉樹では大きな植生高差が出ず、落葉樹と常緑樹の区分が困難である。そのため、常緑樹と落葉樹の区分は画像判読で行うこととし、8月と11月のデジタル画像から常緑樹のみを抽出した。また、道路も画像から判読して抽出した。

1mグリッドで活葉期のDSMと落葉期のDEMの差を活葉期の植生高とした。植生高1.5m未満を草地・裸地とし、1.5m以上を樹木とした。樹木については、画像から落葉樹と常緑樹に区分しているため、落葉樹については、2時期の植生高の差が3m以上を早期落葉樹（落葉期の航空レーザ計測時に落葉していた）、3m未満を後期落葉樹（落葉期の航空レーザ計測時にまだ落葉していなかった）と2分した。また、常緑樹については15m未満を低木、15m以上を高木に、落葉樹については、10m未満を低木、10m以上を高木に区分した。

樹冠厚は植生高から枝下高を引いて算出した。図1-14の毎木調査サイト1における樹種別の実測植生高と樹冠厚との関係を図1-16に示す（鳥取大学作成）。クリ、オニグルミ、ミズキ、コナラ、イヌシデ全てにおいて植生高と樹冠厚の間に正の相関が見られた。また、オニグルミは他の樹種に比べ植生高に対して樹冠厚が薄い傾向がある。従って、植生高と樹冠厚の関係から、航空レーザ測量データを用いてオニグルミとそれ以外の樹種判別ができる可能性がある。

レーザ植生図では、活葉期のDSMランダムポイントデータの最高値と最低値（DEMの部分は除く）の差を樹冠厚と定義し、10m以上を樹冠厚が厚い、10m未満を樹冠厚が薄いとした。樹冠厚による区分は高木落葉樹に適用した。早期落葉樹については、樹冠が厚い高木はほとんど抽出されておらず、凡例としては独立させなかった。現地調査の結果では、早期落葉樹のほとんどは樹冠の薄いオニグル

ミが該当していた。図1-16では、オニグルミの樹冠厚は10m以下となっている。

落葉樹については、高さ方向に1m単位でランダムポイントデータのヒストグラムを作成し、最上部の樹冠を示すヒストグラムの群から1m以上離れて、最上部の樹冠の最頻値の1割以上のランダムポイント群が存在する場合に複層と判断し、単層と複層に区分した。このような手法を、透過率法と呼ぶ。

以上の分類をとりまとめて、常緑樹を低木と高木の2区分、樹冠の薄い早期落葉樹を低木、高木単層、高木複層の3区分、後期落葉樹を低木と高木4区分（樹冠薄い単層、樹冠薄い複層、樹冠厚い単層、樹冠厚い複層）の計5区分、草地・裸地、道路の計12区分とした。植生図作成のアルゴリズムをdecision treeの形式で図1-17に示す。また、作成したレーザ植生図を図1-18に示す。

3) 詳細DEMを用いた地形解析と地質との関連

落葉期の航空レーザ計測範囲25km²を対象に、航空レーザ測量による1mグリッドDEMと国土地理院刊行の50mDEMについて、傾斜、凸度、尾根谷密度の3つの地形要素のヒストグラムを作成し、図1-19に示す。

傾斜のヒストグラムを見ると、50mDEMでは20°前後をピークに急傾斜のグリッド数が減ってきているのに対し、1mDEMでは40°近くまでグリッド数が一定以上ある。グリッドサイズが細かくなると急傾斜な地形を抽出しやすくなり、ヒストグラムが急傾斜側に偏ることがわかる。凸度のヒストグラムを見ると、1mDEMと50mDEMとで似た形になっている。ただし、50mDEMでは0.6以上の数値が出現しないが、1mDEMでは出現するという違いがある。その原因は現時点では考察できていない。尾根谷密度のヒストグラムを見ると、1mDEMと50mDEMとで全く異なる値を示す。50mDEMでは数値が大きく（ピークは0.7付近）、1mDEMでは数値が小さい（ピークは0.25）。これは、1mDEMでは地形量を求める範囲が半径10mと狭いため、抽出する尾根谷の数が50mDEMと比べて極端に少なくなるためと考えられる。以上のような傾向は、他の地域の事例（例えば磐梯山、秋田駒ヶ岳など）でも認められている^{7,8)}。

次に、傾斜、凸度、尾根谷密度の平均値に対する大小と、5万分1地質図「多里」⁹⁾との重ね合わせを行った（図1-20）。傾斜について50mDEMの解析結果を（a）に、1mDEMの解析結果を（b）に、凸度について50mDEMの解析結果を（c）に、1mDEMの解析結果を（d）に、尾根谷密度について50mDEMの解析結果を（e）に、1mDEMの解析結果を（f）に示す。

傾斜について（a）と（b）とを比べると、グリッドサイズに関係なく急傾斜の箇所は50mDEMでも1mDEMでも急傾斜である。地質との関連では、古生界砂泥互層、蛇紋岩で傾斜が大きく、中新統で傾斜が小さい傾向がある。凸度については、50mDEMでは山地の頂部や稜線部で大きく、山麓部や道路沿いで小さい。地質との関連では、古生界、中生界流紋岩で大きく、白亜系石英斑礫岩、中新統で小さい傾向がある。一方1mDEMでは、微地形レベルで見た稜線で大きく、全く異なる分布特性を示し、地質との関連性は認められない。尾根谷密度については、50mDEMでは地質との対応が極めて良い。白亜系花崗閃緑岩、白亜系流紋岩で尾根谷密度が高く（テクスチャが粗い）、蛇紋岩、白亜系石英斑礫岩、古生界泥質岩で尾根谷密度が低い（テクスチャが滑らか）（図1-21）。1mDEMでは50mDEMほどではないが地質との関連が認められる。しかし傾向は逆で、50mDEMでは尾根谷密度が低かった白亜系石英斑礫岩や古生界泥質岩で尾根谷密度が高い。また、1mDEMでは平野部、道後山北麓や南西麓の鉄穴流しの跡地においても尾根谷密度の数値が大きい。これは、人為改変のあった箇所の尾根谷密度が高いことを示している。尾根谷密度の高い代表的な4箇所について、範囲を限定して尾根谷密

度を計測した結果を表1-7に示す。谷底平野の1mDEMの尾根谷密度が0.5を越える数値を示すのに対し、鉄穴流し跡地の1mDEMの尾根谷密度の数値は0.38~0.42と限定的であり、1mDEMの解析から自動的に鉄穴流し跡地の地形を抽出できる可能性を示している。

以上の解析結果からは、1mDEMの凸度を除いて各地形要素の数値の大小は地質と関連することが認められた。また、50mDEMの方が地質との関連性は明瞭で、特に尾根谷密度で顕著であった。これは、地質情報の縮尺が5万分1であるため、地質情報の空間解像度が1mDEMでは地形量を求める範囲である半径10mと比べて十分な精度を持っておらず、解析に使うDEMのグリッドサイズが1mよりも50mの方が縮尺的に合っていたからと考えられる。一方で、1mDEMの解析では局所的な急傾斜箇所抽出が可能で、尾根谷密度の数値が鉄穴流し跡地で特定の数値を示す可能性があることなどから、鉄穴流し跡地という人為改変の地形に関する検討を行うには、航空レーザ測量による1mDEMを使った方が良いと考えられる。

4) 植生と地形との関連性解析

航空レーザ測量データから作成したレーザ植生図と1mDEMによる自動地形分類図を用いて、地形と植生との関連性を解析した。解析の対象範囲は、レーザ植生図を作成した2km²の範囲である。なお地質情報については、元の地質図の縮尺が5万分1で1mグリッドでの解析には適していないこと、レーザ植生図の範囲は地質が一樣（花崗閃緑岩）であることから、以降の解析では地質情報は使用せず、地形と植生との関連性のみを解析する。

まず、レーザ植生図と同じ範囲での1mDEMによる自動地形分類を行った。分類に使用した地形要素は傾斜、凸度、尾根谷密度であり、平均値を閾値に大小に2値化してその組みあわせで8分類した。地形要素の平均値は対象とする範囲により変わるため、道後山北麓の25km²とレーザ植生図の作成範囲2km²とではその平均値は変わってくる。そこでレーザ植生図と同じ範囲での各地形要素のヒストグラムを作成したところ、図1-19とあまり変化がなかったことから、平均値を閾値としても問題ないと判断した。ここでは傾斜30°、凸度0.49、尾根谷密度0.25を閾値としている。その結果作成された自動地形分類図を図1-22に示す。

図1-14の等高線判読と現地調査で抽出した鉄穴流し跡地を図1-22中にA、Bで示す。これらの場所は、自動地形分類では青色（緩傾斜、凹型、尾根谷密度高）の地形となっている。一部に緑色（緩傾斜、凸型、尾根谷密度高）の部分があるが、鉄穴流しで発生した不要な礫等を積み上げた人為的な小丘状の高まりの地形を示している。

図1-18のレーザ植生図と図1-22の1mDEMによる自動地形分類図のオーバーレイ解析の結果を図1-23に示す。ここではレーザ植生図の12の凡例は、常緑樹、早期落葉樹、後期落葉樹、裸地・草地、道路の5つにまとめて表示している。早期落葉樹には樹冠の厚い高木が無かったため、実際にはほぼオニグルミを示している。また、後期落葉樹は、オニグルミ以外の落葉樹を示している。図1-23を見ると、早期落葉樹（オニグルミ）は特定の地形に卓越する傾向が見られ、特に緩傾斜地、凹型、尾根谷密度が高い地形にその傾向が顕著である。この地形は鉄穴流し跡地が示す地形と同じ自動地形分類結果のカテゴリーに該当する。

5) 中国山地の景観生態学的研究のまとめ

航空レーザ測量のランダムポイントデータを用いることで植生三次元構造を捉えることができ、さ

らに落葉時期と樹冠厚に着目して、鉄穴流し跡地に特徴的なオニグルミの分布を面的に明らかにすることができた。オニグルミの分布域は、航空レーザ測量により取得した1mDEMの解析では、凹型の緩傾斜地で尾根谷密度が高い地域（0.4前後）に相当する。また、航空レーザ測量による詳細DEMの地形解析や等高線判読により、人為による大規模な地形改変である鉄穴流し跡地を抽出することができた。よって、航空レーザ測量技術は、植生三次元構造や微地形など、景観生態学的な検討を行う上で重要な要素を抽出するのに適したツールであると言える。

オニグルミは、通常、河川の中流から下流にかけて点在するように生育する。本研究対象地のオニグルミ林は、鉄穴流しによって発生した土砂が堆積して緩やかで幅の広い谷を形成し、その湿性立地に成立したものと推定される。一方、鉄穴残丘と考えられる小丘上には、コナラ、クリ、シデ、スギなどが生育している。多くは二次林として自然に成立したものと推定される。これまで一般に、人為が強く加わるほど、生物多様性は低下するものと考えられてきた。しかし、本研究の結果、中国山地の強度に人為が加わった地域において、地形改変が結果として自然営力ではあり得ない地形を生み出し、そこに特異な植生が成立していることが明らかになった。

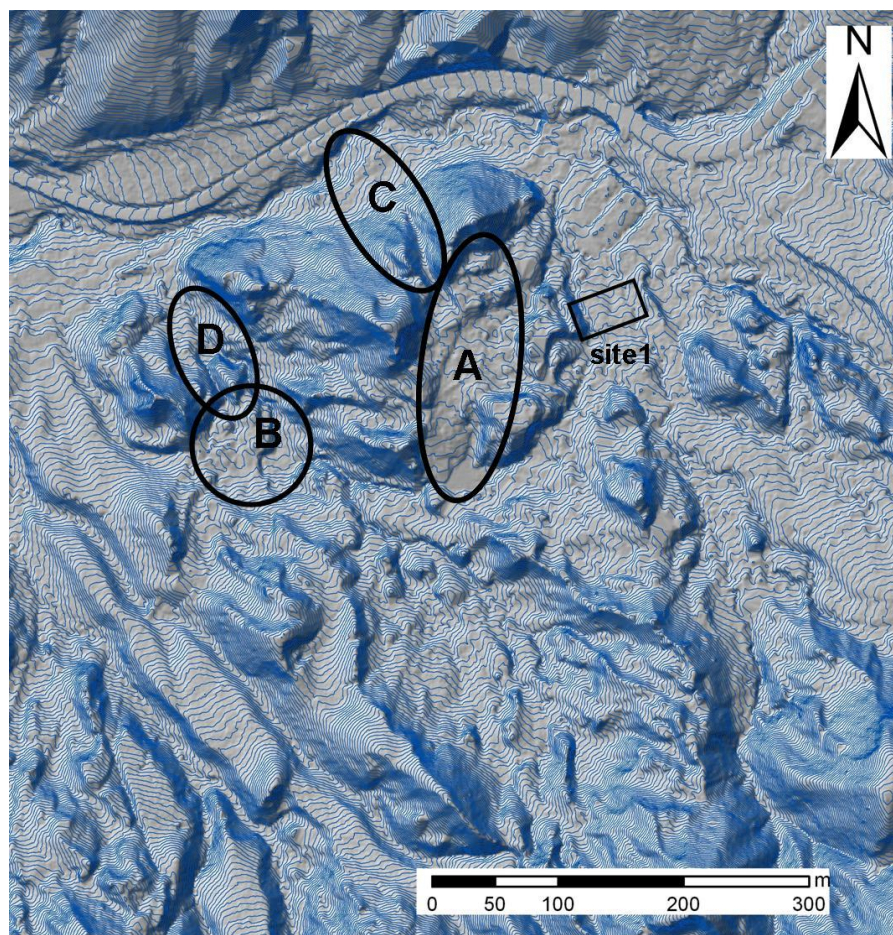


図1-14 航空レーザ測量データによる道後山北麓の1m等高線図

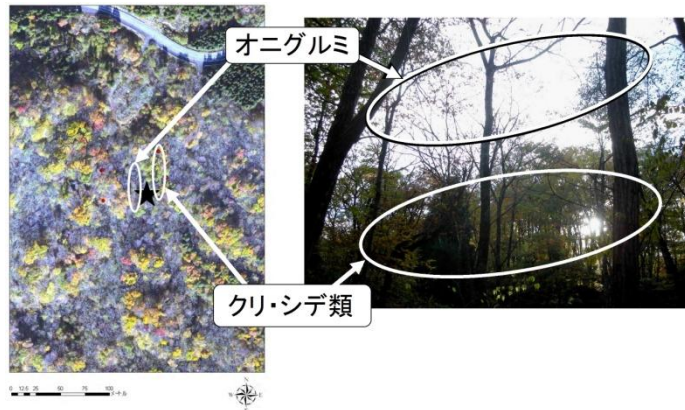


図1-15 落葉期航空レーザ計測時の空中写真と現地写真（鳥取大学撮影）

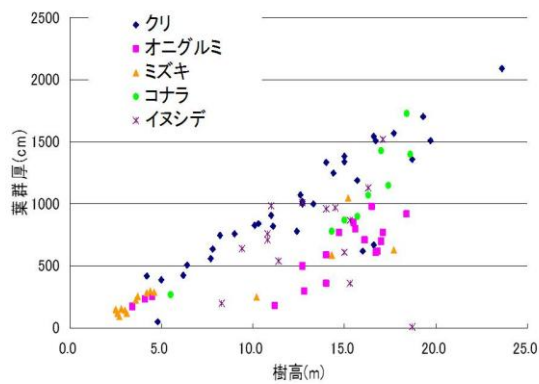


図1-16 樹高と樹冠厚の関係（鳥取大学のデータによる）

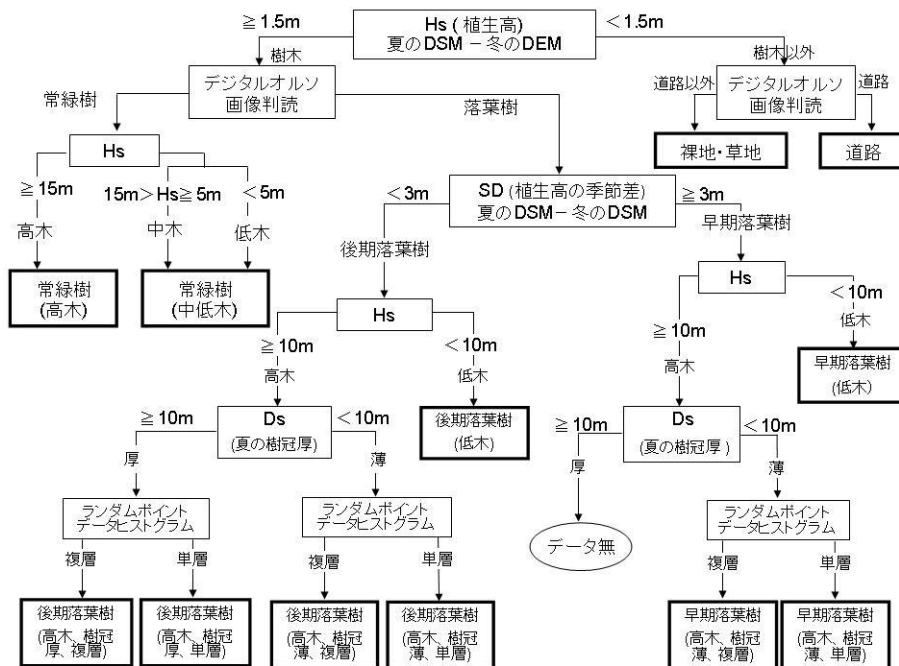


図1-17 道後山北麓における航空レーザ測量データによる植生図作成のアルゴリズム

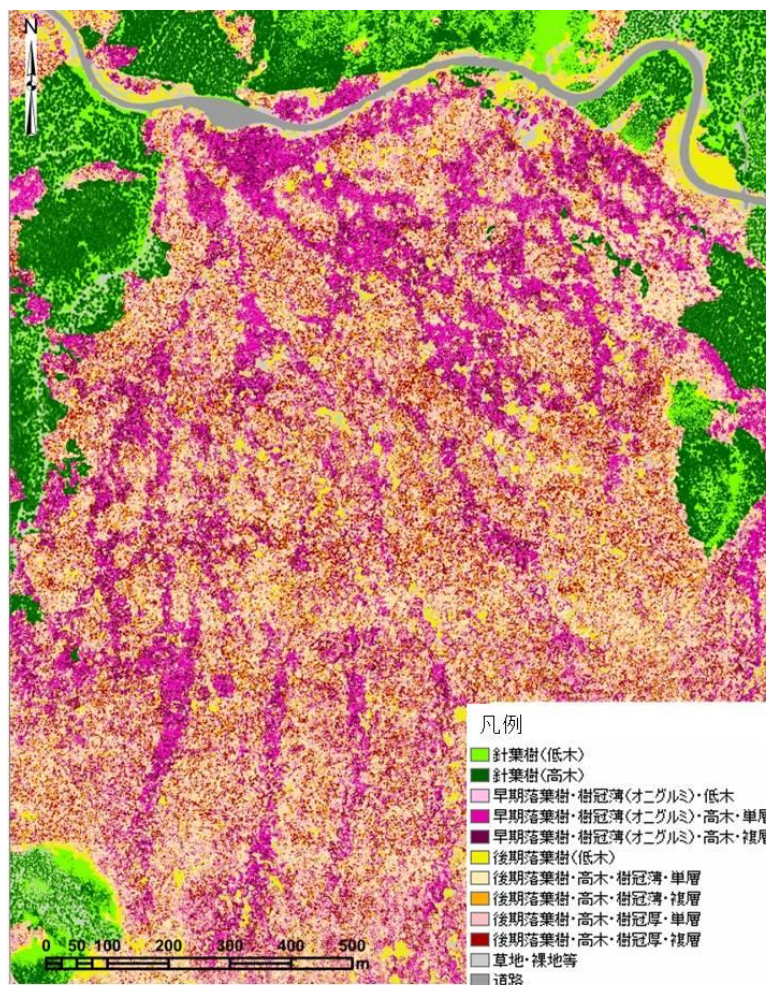
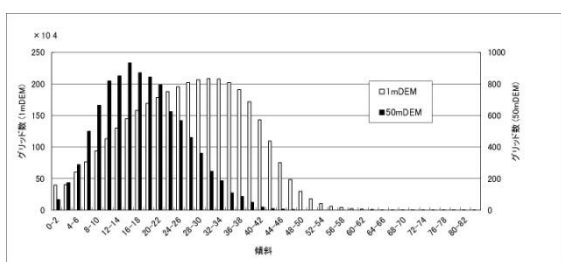
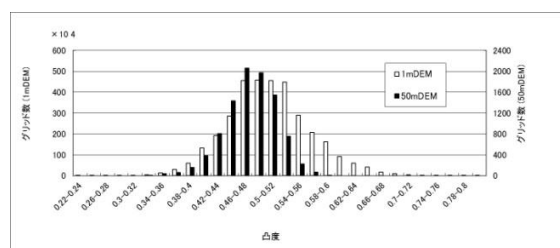


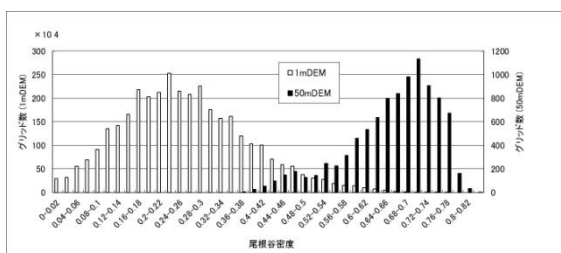
図1-18 道後山北麓のレーザ植生図



(a) 傾斜のヒストグラム

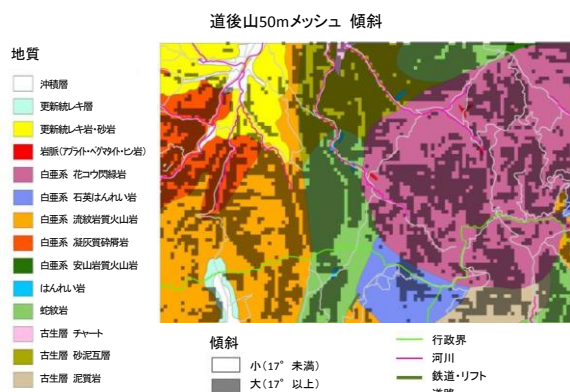


(b) 凸度のヒストグラム

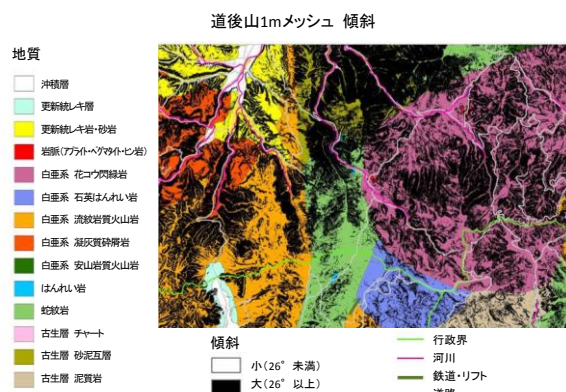


(c) 尾根谷密度のヒストグラム

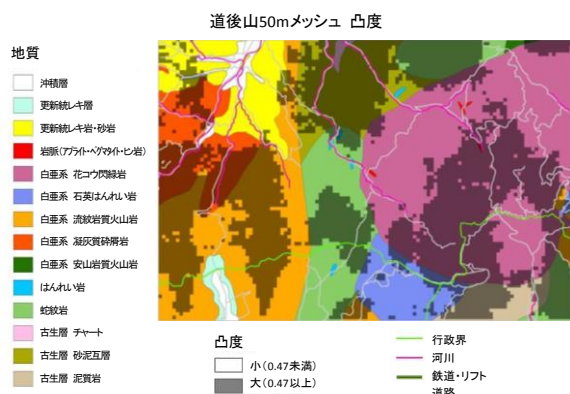
図1-19 道後山北麓の傾斜・凸度・尾根谷密度の各グリッドサイズのヒストグラム比較



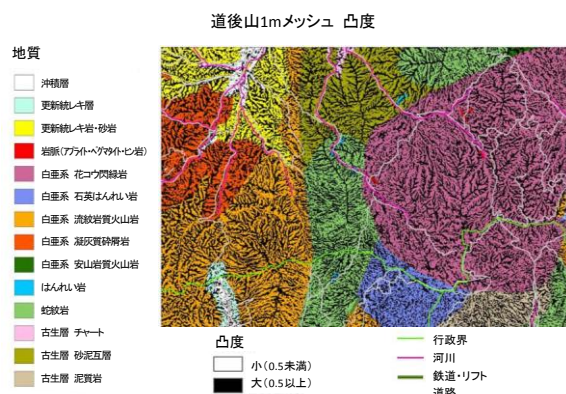
(a) 50mDEMによる傾斜の大小と地質の重ね合わせ



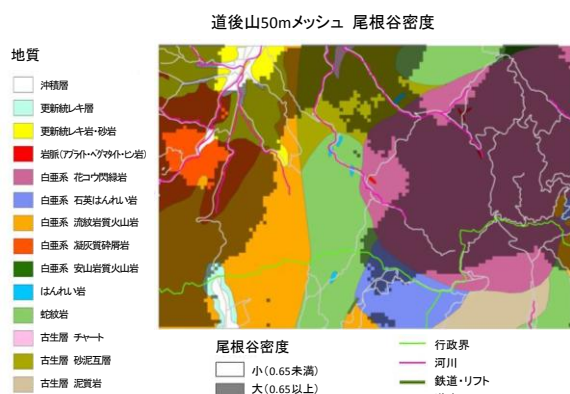
(b) 1mDEMによる傾斜の大小と地質の重ね合わせ



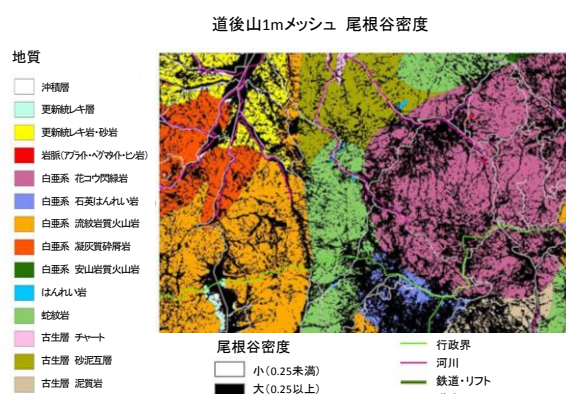
(c) 50mDEMによる凸度の大小と地質の重ね合わせ



(d) 1mDEMによる凸度の大小と地質の重ね合わせ



(e) 50mDEMによる尾根谷密度の大小と地質の重ね合わせ



(f) 1mDEMによる尾根谷密度の大小と地質の重ね合わせ

図1-20 DEMの解析結果と地質情報との重ね合わせ

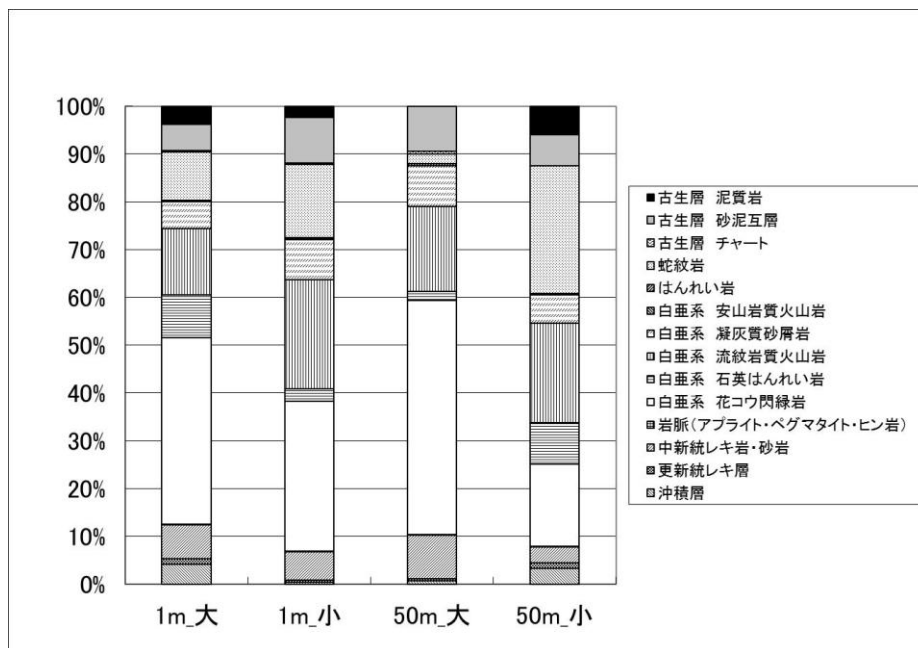


図1-21 地質と尾根谷密度の関係

表1-7 各人工改変箇所の尾根谷密度の値

サイト名	尾根谷密度 (1mDEM)	尾根谷密度 (50mDEM)
サイトA(尾根谷密度が高い谷底平野)	0.56~0.58	0.63
サイトB(尾根谷密度が高い峠の平坦地)	0.52~0.54	0.64
サイトC(出立山鉄穴流し跡地)	0.38~0.40	0.66
サイトD(道後山南麓鉄穴流し跡地)	0.40~0.42	0.62

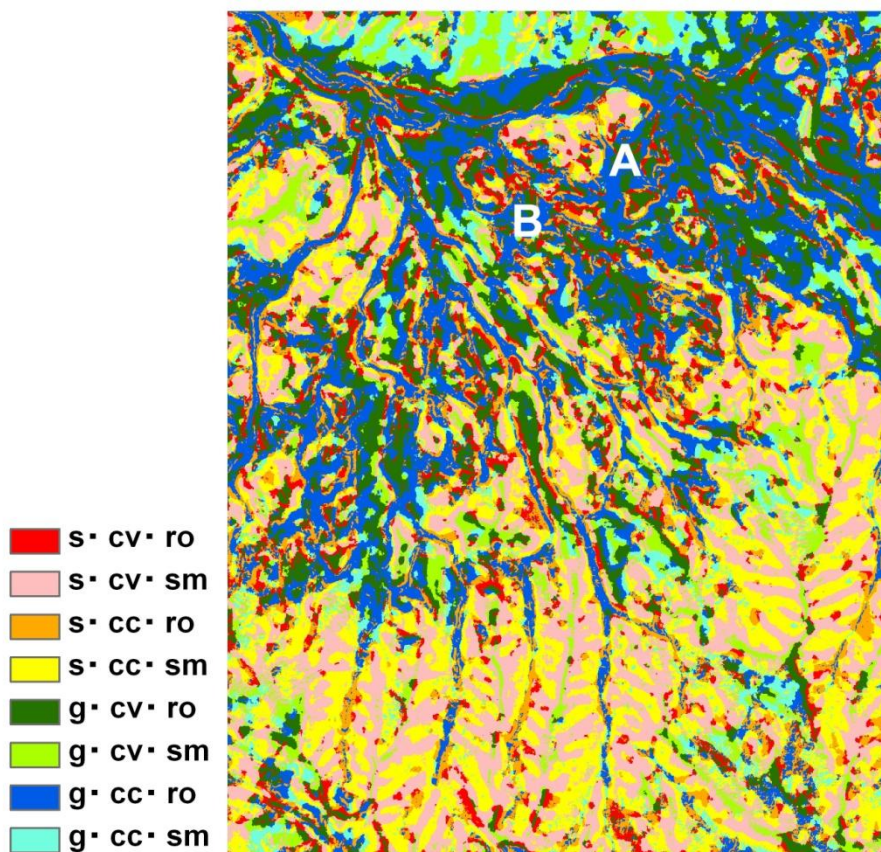


図1-22 1mDEMによる自動地形分類図

s : 急傾斜, g : 緩傾斜, cv : 凸型, cc : 凹型, ro : 粗い, sm : 滑らか

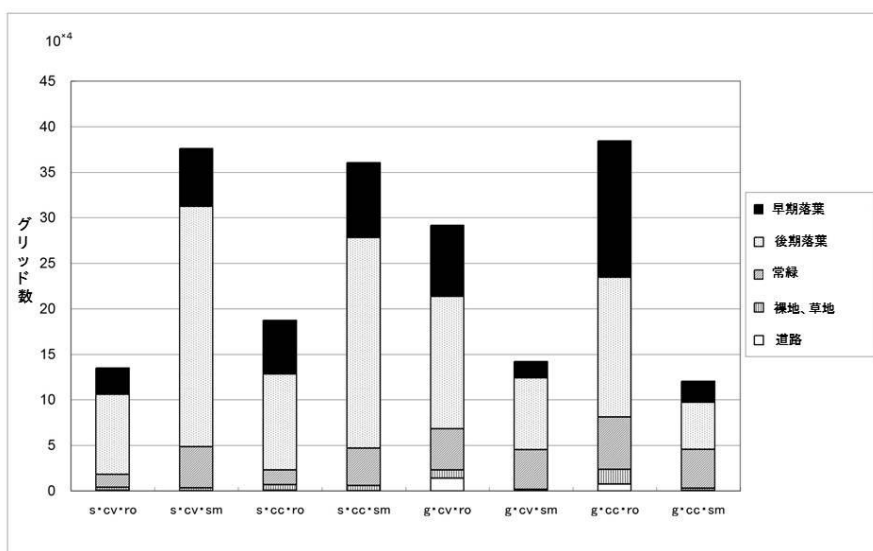


図1-23 レーザ植生図と自動地形分類図のオーバーレイ解析の結果

s : 急傾斜, g : 緩傾斜, cv : 凸型, cc : 凹型, ro : 粗い, sm : 滑らか

(3) 景観生態学図の作成

景観生態学図は、植生分類と地形分類との重ね合わせにより表示することとした。植生分類については、活葉期と落葉期の航空レーザ測量のランダムポイントデータの様相の違いから、落葉・常緑の区分、単層・複層の区分、それに樹冠高を組合せた植生三次元構造区分を行った。地形分類の方は、落葉期の航空レーザ測量の詳細DEMから、傾斜・凸度・尾根谷密度に着目した自動地形分類を行った。景観生態学図のグリッドサイズは、毎木調査の樹冠の大きさから4mとした。ただし、航空レーザ測量データを4mグリッドに集約してから植生分類や自動地形分類を行うと、正しく区分されないため、先に1mグリッドでレーザ植生図、自動地形分類図等を作成し、それを4mグリッドにリサンプリングした。そうすることにより、より詳細な樹林構造や地形を反映することができる。

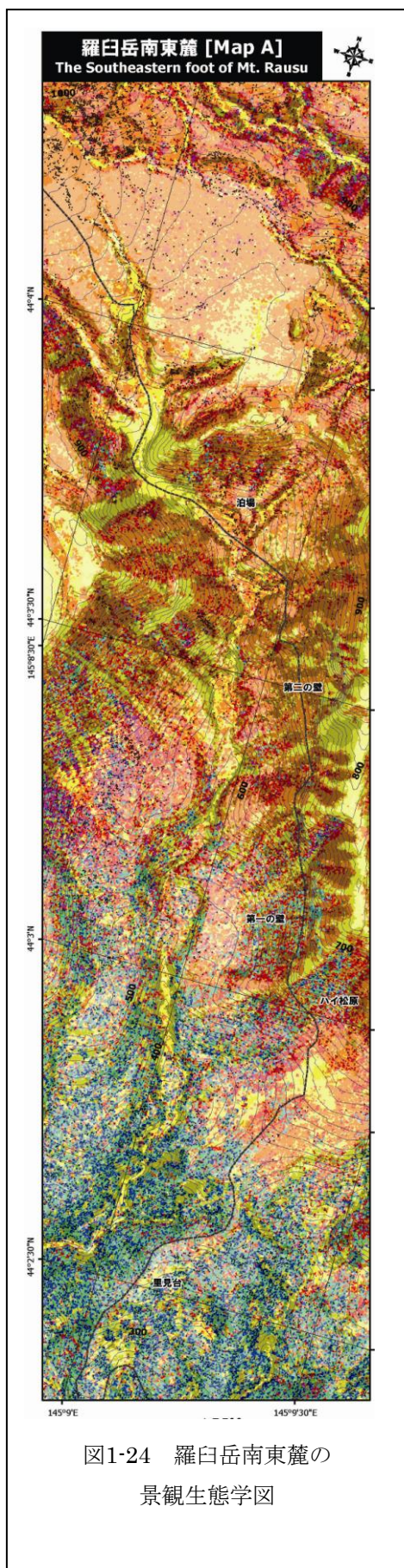
1) 知床半島の景観生態学図

知床半島の景観生態学図は、2時期の航空レーザ測量データのある羅臼岳南東麓、落葉期の航空レーザ測量データのみ、活葉期の航空レーザ測量データのみ、知床岬の3つの景観生態学図から構成した。

地形分類については、3地区とも共通である。羅臼岳については落葉期の航空レーザ測量データから2mグリッドDEMを用いて、知床岬については活葉期に計測した航空レーザ測量データから1mグリッドDEMを用いて、Iwahashi and Pike (2007) ⁴⁾の方法を参考に、傾斜が急か緩いか、尾根型斜面か谷型斜面かで植生が変わってくるので、傾斜、凸度の2つの地形要素に着目して区分した。傾斜は10°、30°を閾値に、緩傾斜、中傾斜、急傾斜に区分した。30°より急峻な地形では斜面が安定せず絶えず土砂供給をしていることが植生等に影響していると考えられる。10°以下は供給された土砂が堆積する場として認識できる。羅臼岳周辺には、極楽平、羅臼平、泊場上方など、顕著に平らな地形があり、そのような地形を活かした分類にするため、10°を閾値とした。凸度は0.5未満を凹型、0.5以上を凸型とした。なお、緩傾斜については平坦な地形が多いため、凡例数を少なくする観点から凸度による区分は採用しなかった。従って、地形分類は緩傾斜、中傾斜・凸型、中傾斜・凹型、急傾斜・凸型、急傾斜・凹型の5つに区分される。

次に植生分類について述べる。羅臼岳南東麓[Map A]の植生分類については、2時期の航空レーザ測量データから植生の高さ情報を求め、これを反映した植生分類にした。レーザ植生図では11凡例に区分されていたが、樹冠厚による区分は採用せず8分類とした。高さが1.5m以上を樹林、1.5m未満を裸地・草地・ハイマツ地とした。樹林のうち2時期の高さの差が2m以上のものを落葉広葉樹林に、2m未満のものを常緑針葉樹林とした。ここで閾値を3mから2mに変えたのは、3mでは常緑樹を実際より過剰に評価していたためである。落葉広葉樹林のうち、落葉期の高さが5m以上あるものは落葉広葉樹の下に常緑針葉樹があるものと判断し、針広混交林とした。樹林については、それに樹冠高を組合せた植生三次元構造区分を行った。また、樹冠厚の情報は使わなかったが、シカの食害の実態やそれが鳥類の生息環境に及ぼす影響が把握できるように、樹林の下が空いている枝下高が4m以上の箇所を抽出し、該当グリッドの中心に点を重ねて表示した。羅臼岳南東麓[Map A]の景観生態学図を図1-24に、凡例を図1-25に示す。地形分類と植生分類を組み合わせると、5×8で40種類の分類となる。

羅臼岳周辺[Map B]の植生分類は、環境省の2.5万分1現存植生図の植物群落区分を[Map A]の植生分類と整合するように集約した。広葉樹林、針広混交林、針葉樹林、ハイマツ、ササ、草地、裸地の7つに区分した。落葉期の航空レーザ測量データしかないため、植生三次元構造を反映した植生分類と



はなっていない。羅臼岳周辺[Map B]の凡例を図1-26に示す。地形分類と植生分類を組み合わせると、5×7で35種類の凡例となる。その他に、人工地、水域がある。

知床岬[Map C]の植生分類は、活葉期の航空レーザ測量データのみから分類した。高さが1.5m以上の植生を樹林、1.5m未満の植生を草地等とした。樹林については、環境省の2.5万分1現存植生図の植物群落区分を集約した分類に樹冠高の情報を加えて細分類した。シカの不着好性草本であるハンゴンソウが広がっている状況を把握しやすいよう、草地等を植生高で2分し、草丈0.5m以上の箇所を「ハンゴンソウ等」として該当するグリッドの中心に点を重ねて表示した。知床岬[Map C]を図1-27に示す。地形分類と植生分類を組み合わせると、5×7で35種類の分類となる。その他に、岩礁・浜等、人工地がある。

登山者の多い岩尾別側登山道については、登山口・木下小屋～大沢入口において100m間隔で登山道幅と侵食深度を計測し、これらから登山道荒廃度を5段階に区分して表示した。知床半島の景観生態学図のレイアウトを図1-28に示す。

2) 中国山地の景観生態学図

中国山地の景観生態学図は、2時期の航空レーザ測量データのある道後山北麓の一部（出立山）と、落葉期の航空レーザ測量データのみで道後山北麓全域の2つの景観生態学図から構成した。

地形分類については、2地区とも共通である。11月計測の航空レーザ測量データから作成した1mグリッドDEMを用いて、Iwahashi and Pike (2007) ⁴⁾の方法を参考に、傾斜、凸度、尾根谷密度の3つの地形要素に着目して区分した。傾斜は30°を閾値に、緩中傾斜、急傾斜に区分した。緩傾斜と中傾斜を一緒にしたのは、地形分類を少なくするという意味の他に、鉄穴流し跡地が緩傾斜だけでなく傾斜15°～20°程度の中傾斜領域にも認められたからである。凸度は0.5未満を凹型、0.5以上を凸型とした。以上を組み合わせると4分類となるが、鉄穴流し跡地の分布が1mグリッドDEMから求めた尾根谷密度が0.4前後の範囲に該当することから、緩中傾斜については、尾根谷密度が0.35～0.5の数値の範囲のグリッドについては、グリッドの中心に点を重ねて表示し、「人工改変の可能性あり」とした。従って、

地形分類は6分類となる。

次に植生分類について述べる。出立山[Map A]の植生分類については、2時期の航空レーザ測量データから植生の高さ情報を求め、これを反映した植生分類にした。高さが1.5m以上を樹林、1.5m未満を草地等とした。樹林については、空中写真画像の判読により常緑樹林と落葉樹林に区分した。落葉樹林のうち2時期の高さの差が3m以上あるものについては、11月の航空レーザ計測時に落葉していたものとした。11月に落葉していた樹木で樹冠が薄い（10m未満）ものは、現地調査により主にオニグルミであることが確認できた。鳥取大学による植物社会的分類の結果、植物分類ではそれを反映した凡例名を括弧書きで付けている。2時期の航空レーザ測量のランダムポイントデータの様相の違いから、常緑樹林（スギ・ヒノキ人工林に相当）、落葉時期の早い樹冠薄の落葉樹林（ジュウモンジシダーサワグルミ群集 ヤマトキホコリ亜群集 オニグルミ変群集に相当）、落葉の遅い落葉樹林（クリーミズナラ群集に相当）、草地等に分け、それに樹冠高と単層・複層区分を組合せた植生三次元構造区分を行った。レーザ植生図では12分類に区分されていたが、クリーミズナラ群集に相当する落葉樹林については樹冠厚による区分を採用しなかったため、結果として9分類にまとめている。樹林の高さ情報を反映した景観生態学図[Map A]を図1-29に、凡例を図1-30に示す。地形分類と植生分類を組み合わせると、6×9で54種類の分類となる。

道後山北麓[Map B]の植生分類は、落葉期の航空レーザ測量データしかないため、11月の航空レーザ計測時に撮影した空中写真画像を判読して、常緑針葉樹林（スギ・ヒノキ人工林）、落葉広葉樹林、草地等の3つに区分した。植生三次元構造を反映した植生分類とはなっていない。道後山北麓[Map B]の凡例を図1-31に示す。地形分類と植生分類を組み合わせると、6×3で18種類の分類となる。

中国山地の景観生態学図のレイアウトを図1-28に示す。

3) まとめ

原生的自然環境と里山環境において、航空レーザ測量を活葉期と落葉期に行い、植生三次元構造を反映したレーザ植生図と詳細DEMを用いた自動地形分類図を組み合わせると景観生態学図を作成することができた。この景観生態学図は、シカの食害や登山道の荒廃が問題となっている知床半島や、たたら製鉄に伴う地形・植生改変が行われてきた中国山地において、生物多様性保全戦略を検討する上でベースマップとなるものである。

[Map A] 凡例 Legend		緩傾斜 gentle slope	中傾斜・凸型 middle slope / convex	中傾斜・凹型 middle slope / concave	急傾斜・凸型 steep / convex	急傾斜・凹型 steep / concave
植生分類 Vegetation Classification	地形分類 Landform Classification					
落葉広葉樹林 Deciduous broad-leaved forest	樹冠高 6m 未満 Canopy height less than 6 m					
	樹冠高 6~10m Canopy height between 6 and 10 m					
	樹冠高 10m 以上 Canopy height more than 10 m					
針広混交林 Mixed forest	樹冠高 10m 未満 Canopy height less than 10 m					
	樹冠高 10m 以上 Canopy height more than 10 m					
常緑針葉樹林 Evergreen needle-leaved forest	樹冠高 10m 未満 Canopy height less than 10 m					
	樹冠高 10m 以上 Canopy height more than 10 m					
裸地・草地・ハイマツ Bare area・Grass Land・Dwarf stone pine						

図1-25 羅臼岳南東麓の景観生態学図の凡例

[Map B] 凡例 Legend		緩傾斜 gentle slope	中傾斜・凸型 middle slope / convex	中傾斜・凹型 middle slope / concave	急傾斜・凸型 steep / convex	急傾斜・凹型 steep / concave
植生分類 Vegetation Classification	地形分類 Landform Classification					
広葉樹林 Broad-leaved forest						
針広混交林 Mixed forest						
針葉樹林 Coniferous forest						
ハイマツ Dwarf stone pine						
ササ Bamboo grass						
草地 Grass Land						
裸地 Bare area						

図1-26 羅臼岳周辺の景観生態学図の凡例

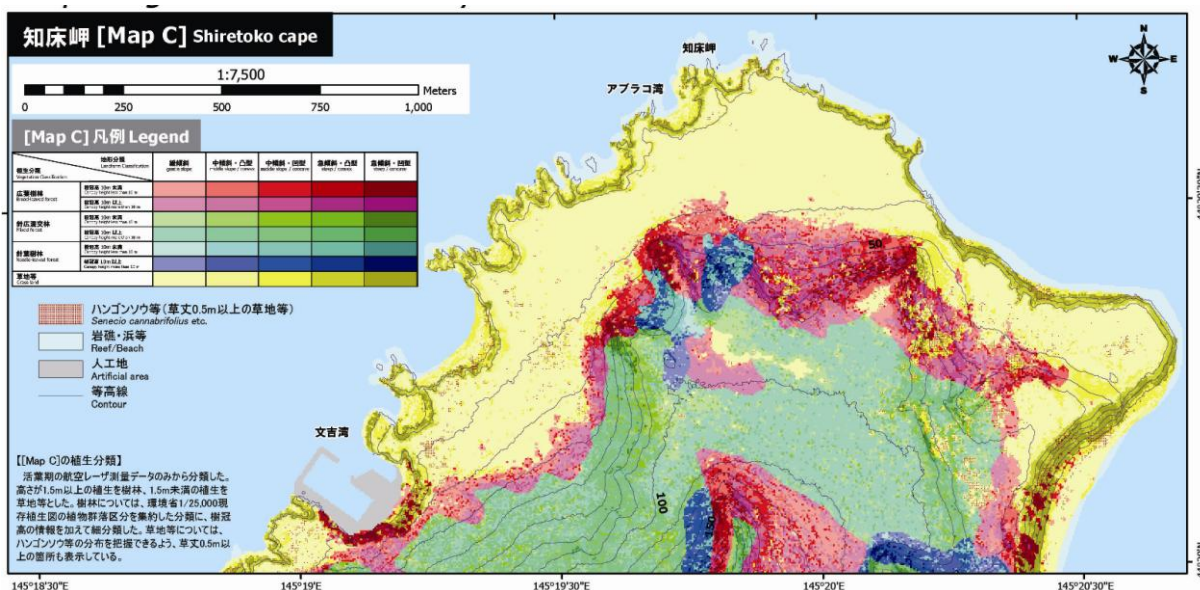


図1-27 知床岬の景観生態学図

航空レーザ測量データを用いた景観生態学図 - 羅臼岳周辺・知床岬 (原生的自然環境地域) -
 Landscape Ecological Map using Airborne Laser Survey data - Around Mt. Rausu & Shiretoko cape -

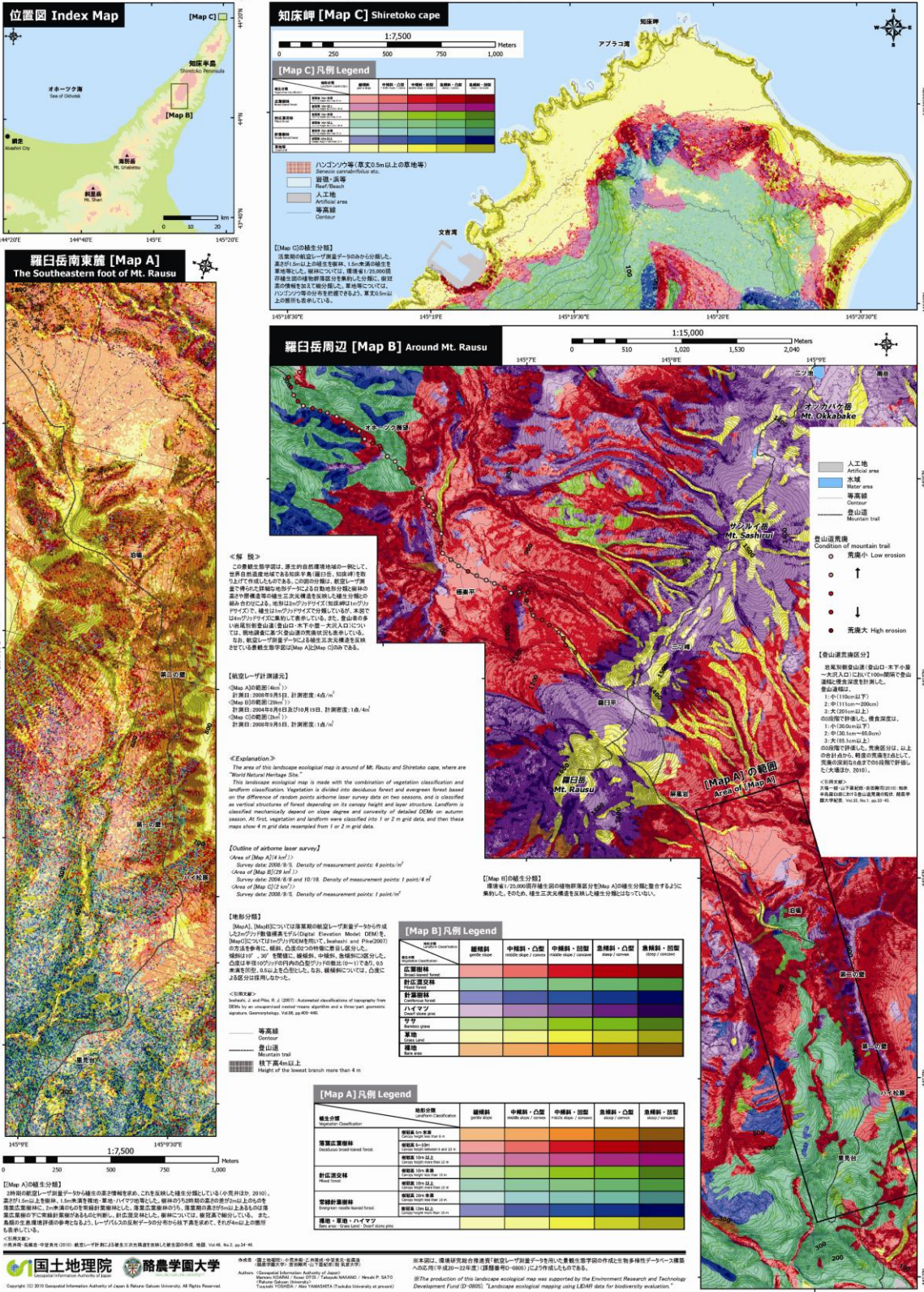


図-28 航空レーザ測量データを用いた景観生態学図
 - 羅臼岳周辺・知床岬 (原生的自然環境地域) -

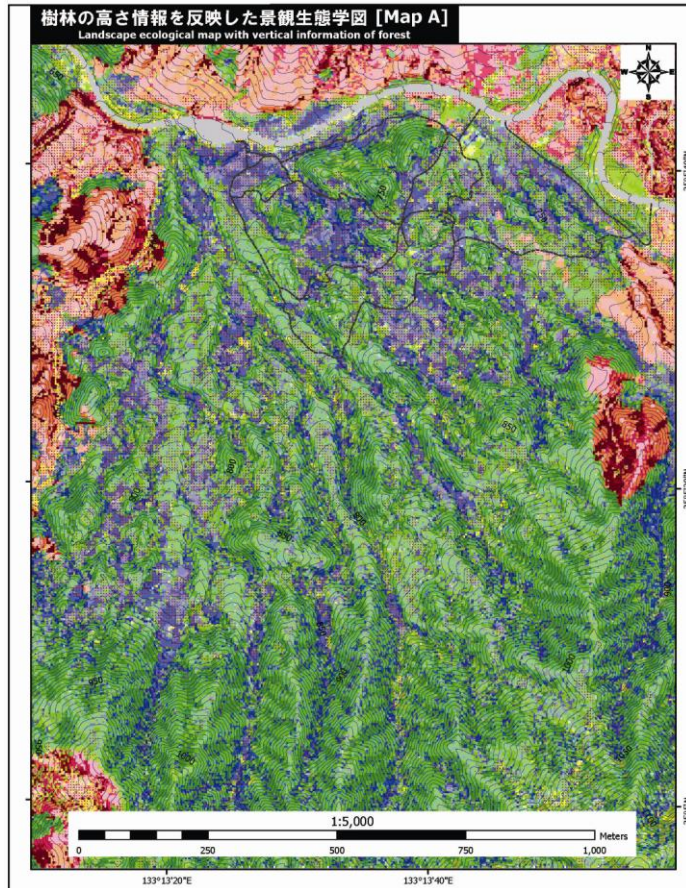


図1-29 道後山北麓の樹林の高さ情報を反映した景観生態学図

[Map A] 凡例 Legend

植生分類 Vegetation Classification	地形分類 Landform Classification	緩中傾斜・凸型 gentle - middle slope / convex	緩中傾斜・凸型 (人工改変の可能性あり) gentle - middle slope / convex (potential historic iron sand mining site)	緩中傾斜・凹型 gentle - middle slope / concave	緩中傾斜・凹型 (人工改変の可能性あり) gentle - middle slope / concave (potential historic iron sand mining site)	急傾斜・凸型 steep / convex	急傾斜・凹型 steep / concave
常緑樹林 (スギ・ヒノキ人工林に相当) Evergreen forest (<i>Chamaecyparis japonica</i> / <i>Chamaecyparis obtusa</i> artificial forest)	樹冠高 15m 未満 Canopy height less than 15m						
	樹冠高 15m 以上 Canopy height more than 15m						
落葉樹林 (シュウキンシスター・サワグルミ群集 ヤマトキホコリ亜群集 オニグルミ亜群集に相当) Deciduous forest (<i>Podocarpus nagi</i> Subclass. of <i>Distylium latifolium</i> Variant of <i>Juglans ailanthifolia</i>)	林内ギャップ Forest Gap						
	樹冠高 10m 以上、単層 Canopy height more than 10m, Single-layered						
	樹冠高 10m 以上、複層 Canopy height more than 10m, Multi-layered						
落葉樹林 (クリ・ミズナラ群集に相当) Deciduous forest (<i>Casuarina quercetorum crispulob</i>)	樹冠高 10m 未満 Canopy height less than 10m						
	樹冠高 10m 以上、単層 Canopy height more than 10m, Single-layered						
	樹冠高 10m 以上、複層 Canopy height more than 10m, Multi-layered						
草地等 Grass land							

道路 Road
 遊歩道 Hiking trail
 等高線 Contour

図1-30 道後山北麓の樹林の高さ情報を反映した景観生態学図の凡例

[Map B] 凡例 Legend

植生分類 Vegetation Classification	地形分類 Landform Classification	緩中傾斜・凸型 gentle - middle slope / convex	緩中傾斜・凸型 (人工改変の可能性あり) gentle - middle slope / convex (potential historic iron sand mining site)	緩中傾斜・凹型 gentle - middle slope / concave	緩中傾斜・凹型 (人工改変の可能性あり) gentle - middle slope / concave (potential historic iron sand mining site)	急傾斜・凸型 steep / convex	急傾斜・凹型 steep / concave
常緑針葉樹林 (スギ・ヒノキ人工林) Evergreen needle-leaved forest (<i>Cryptomeria japonica</i> / <i>Chamaecyparis obtusa</i> artificial forest)							
落葉広葉樹林 Deciduous broad-leaved forest							
草地等 Grass land							

県境 Prefectural boundary
 車道 Road
 徒歩道 Walking road
 等高線 Contour

図1-31 道後山北麓の景観生態学図の凡例

航空レーザ測量データを用いた景観生態学図 一道後山北麓（里山環境地域） -

Landscape Ecological Map using Airborne Laser Survey Data -The Northern foot of Mt. Dogo-

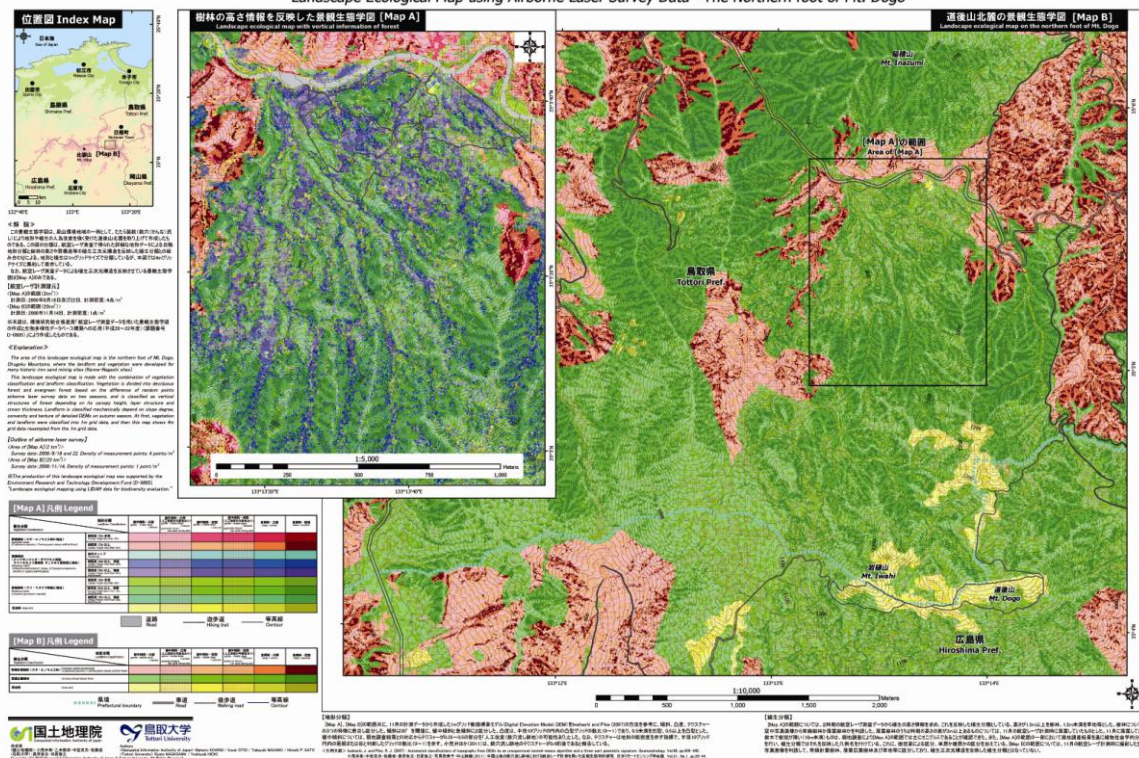


図1-32 航空レーザ測量データを用いた景観生態学図 一道後山北麓（里山環境地域） -

(4) 生物多様性データセットの集約

本研究で収集・作成し、景観生態学図のベースとなるデータを、知床地区（羅臼岳エリア29km²および知床岬エリア2km²）と中国山地（道後山北麓）地区25km²についてGIS上に集約し、生物多様性評価データセットを構築した。詳細は以下のとおりである。

1) 知床地区（羅臼岳エリア）

①羅臼側登山道沿い（4km²）

項目	レイヤ名	備考
航空レーザ植生図	1mグリッド航空レーザ植生図	
	4mグリッド航空レーザ植生図	
地形分類図	0.5mグリッド地形分類図	
樹木調査結果	毎木調査	4サイト。樹種、樹冠ポリゴン、樹高
植生成長量	1978年DSM	
	2004年DSM	
生物多様性評価に関連する情報	枝下高4m以上のグリッド分布	グリッドデータ
	枯死木分布	2サイト。ポイントデータ

②羅臼岳エリア（①を含む29km²）

項 目	レイヤ名	備 考
地形分類図	2mグリッド地形分類図	
	4mグリッド地形分類図	
等高線データ	1m間隔等高線	
植生図	環境省2.5万分1現存植生図	環境省現存植生図を再分類
	1978年相観植生図	ポリゴンデータ
登山道侵食状況調査結果	登山道荒廃	ポイントデータ
その他データ	羅臼岳登山道	

2) 知床地区（知床岬エリア2km²）

項 目	レイヤ名	備 考
地形分類図	1mグリッド地形分類図	
	4mグリッド地形分類図	
等高線データ	1m間隔等高線	
植生図	環境省2.5万分1現存植生図	環境省現存植生図を再分類
	三次元植生図	環境省現存植生図に航空レーザによる樹冠高情報を付与
	1970年代植生図	1970年代の空中写真を判読
ハンゴンソウ分布状況	ハンゴンソウ分布状況	ポリゴンデータ
樹木調査結果	毎木調査	樹高、枝下高
生物多様性評価に関連する情報	鳥類相調査	ポイントデータ
	草丈0.5m以上の草地等	

3) 中国山地（道後山北麓）地区

①出立山周辺（2km²）

項 目	レイヤ名	備 考
航空レーザ植生図	1mグリッド航空レーザ植生図	
	4mグリッド航空レーザ植生図	
植生図	全層植生図	
	IKONOS判読相観植生図	
樹木調査結果	毎木調査	2サイト。樹種、樹冠ポリゴン、樹高
生物多様性評価に関連する情報	ヤマアカガエル生息分布	
その他データ	遊歩道	

②道後山北麓（①を含む25km²）

項 目	レイヤ名	備 考
地形分類図	1mグリッド地形分類図	
	4mグリッド地形分類図	
等高線データ	1m間隔等高線	
植生図	空中写真判読相観植生図	
鉄穴流し跡地分布データ	鉄穴流し跡地分布	貞方（1996）による
地質図	5万分1地質図	
その他データ	徒歩道	
	車道	

以上のデータセットから、目的にあったスケールの情報を選択し、GIS上で重ね合わせることで、今回作成した景観生態学図と同様の図を作成することができる。また、各種データの再分類や再解析により、目的に応じた新たな分類体系やエコトープを作成することも可能である。これらの景観生態学的分類体系と生物の分布情報等を重ね合わせることで、その地域の生物多様性を検討することができる。

本研究で集約したデータセットについては、貴重種情報等公開にあたって支障のある情報や、著作権の問題のあるデータを除き、原則何らかの方法で公開する予定である。

(5) 航空レーザ測量データを用いた景観生態学図作成のマニュアル化検討

1) 基本的考え方

景観生態学図は、地形と植生を一体として様々な生物の生息環境を示す図として位置付けた。本来、景観生態学図の縮尺・分解能は、対象とする生物の生息範囲に基づいて選択することが望ましいと考えるが、本研究では、現存植生図等の既存資料を技術的検証に用いること、および航空レーザ測量データの水平分解能から、1万分1程度の縮尺とした。用紙のサイズも様々な表現の地図を見比べられるようA1版片面1枚に納めている(図1-28、図1-32)。持ち歩いて屋外で使用することを主たる目的にする場合など、両面印刷とする選択肢もあると考える。

景観生態学図の分類項目についても、本来、対象とする生物の生態に応じて、閾値等を決めることが望ましいが、今回は対象とする生物を特定しなかったため、地形分類と植生分類を機械的に組み合わせ、分類の閾値も一般的なものとした。

各分類の配色については、原則として植生分類を色調で、地形分類を明度及び彩度で示すこととし、各植生の色調については、環境省の現存植生図の色調とできる限り矛盾しないよう努めた(図1-25、図1-26、図1-30、図1-31)。

分類項目が非常に多くなったため、色の見分けにくい組み合わせがいくつか生じている。見やすい地図とするためには、目的を明確にして項目数を絞り込むことが望ましい。特に地形は、傾斜、凸度と尾根谷密度の3要素で分類したが(結果として尾根谷密度は植生との組み合わせ分類に用いていない)、印刷図においては明度と彩度とを区別しづらいこともあり、複数の地形要素を色の違いで表現することは難しかった。本景観生態学図では水平分解能の高い航空レーザの特性を生かすという主旨から4mグリッドで分類したため、色分けのみで表示したが、よりサイズの大きいポリゴン等で分類する場合には、色分けだけでなく、網点、縞等の地模様を組み合わせの方が、地形要素毎の分布傾向を理解しやすいものとする。

本景観生態学図は、図自体を評価するための試作図と位置付けたため、利用者を限定せずに、一般的な表現の日英併記としている。想定される利用者が明確であれば、用語の選択などそれぞれに応じた書きぶりにすることが望ましい。

①. 知床地区

羅臼岳南東麓、羅臼岳周辺、知床岬の3つの地区の地図を1枚に納めた(図1-28)。羅臼岳南東麓は活葉期と落葉期、羅臼岳周辺は落葉期のみ、知床岬は活葉期のみの航空レーザ測量のデータを用いて分類しており、これらの違いを比較できるようにしたものである。また、羅臼岳南東麓については枝下高4m以上のグリッドを、知床岬についてはハンゴンソウ等の草丈0.5m以上の草地のグリッドを網点表示で加えている。一方、羅臼岳周辺については、調査地点毎の荒廃度を5段階で示した登山道

荒廃度調査結果を重ねてプロットしている。

②. 中国山地（道後山北麓）地区

道後山北麓と、このうち出立山周辺を抜き出した地図の2つを1枚に納めている（図1-32）。どちらについても、尾根谷密度から人工改変の可能性のある地形を網点表示で加えている。

2) 個別の地形要素、植生要素の取得条件に関する検討

①. 地形分類

地形分類は落葉期に計測されたDEMを用いて実施することが望ましい。しかし、活葉期であっても1m²に4点以上と高密度にレーザ反射点が取得されていれば、フィルタリング処理でDEMを取得することも可能である。ただし、中国山地では活葉期の航空レーザ測量データからは十分な地上到達点のデータが得られなかったことから、植生の繁茂状況等を勘案して計測時期を決める必要がある。

地形分類の方法としては、航空レーザ測量により得られたDEMから等高線を発生させて、等高線判読により地形を分類する手法と、DEMの数値解析により機械的に地形分類する手法がある。等高線判読による手法では、空中写真判読による手法と同様に地形発達史を考慮した地形分類が可能であるが、判読者の力量による個人差が大きくなる。そのため、マニュアルとして一般化することは難しい。一方、数値解析による手法は、コンピュータで機械的に行うので一般化しやすい。そこで本マニュアル（案）では、Iwahashi and Pike(2007)⁴⁾の手法に基づく自動地形分類手法を使用した。この手法は、国土地理院のHPから実行プログラムをダウンロードすることができ（http://gisstar.gsi.go.jp/terrain/front_page.htm）、ArcGISを使える環境であれば容易に活用が可能な手法である。この手法は、傾斜、凸度、尾根谷密度（テクスチャ）の3つの地形要素に着目した地形分類手法であるが、一般的に山地の地形分類では、判読に基づく土地条件図などでも傾斜と凹凸を組み合わせた地形分類が行われてきたので、妥当な手法であると考えられる。ただし、地形要素の数値がDEMの解像度により異なるので、その点に注意が必要である。

地形分類に必要なDEMのサイズは2～5m程度と考えられるが、道後山北麓の鉄穴流し跡地の事例では、1mDEMを2mにリサンプリングして地形分類を行った際には、鉄穴流し跡地内での土砂を堆積させた微高地の抽出ができなかった。また、このような地形は1m間隔の等高線では表現できたが、2m間隔では不可能であった。そのため、生物多様性の評価で山地内での人工改変による微地形の抽出のようなものが必要な場合には、解像度の高いDEMの取得が必要となってくる。

②. 三次元植生分類

一般的には、植生三次元構造に関する情報の取得には、活葉期の航空レーザ測量データが必要である。特に、活葉期と落葉期の2時期のデータがあれば、植物季節変化の情報を活用して、より詳細な植生分類が可能である。ここでは、植生三次元情報毎にデータ取得に必要な条件を整理した。

・植生高

一般的に植生高の情報は、活葉期のDSMと落葉期のDEMの差から求めるのが正確である。今回の2地区での事例研究の成果からは、植生高は概ね正確に求めることができた。植生三次元構造データとしては、最も基本的なデータといえるであろう。なお、活葉期の航空レーザ測量データしか無い場合でも、精度良くDEMが作成できれば植生高を求めることができる。なお、落葉樹林の場合には活葉期のデータが無いと植生高は求められないが、常緑樹林の場合には落葉期のデータでも植生高を求めることができる。むしろ、樹冠内を透過するレーザパルスが増える分、またDEMの作成が容易な分、落

葉期の方が望ましいともいえる。

・樹冠厚

活葉期の航空レーザ測量データから求めることができる。植生高から枝下高を引いた値が樹冠厚に相当する。樹冠内の葉で反射するレーザパルスが多いほど正確に求まるので、レーザパルスの密度はできるだけ高い方がよい（例えば1m²に4点以上など）。知床岬の検証結果では、精度良く枝下高を求めることが可能で、deer lineの抽出も可能という結果であった。道後山北麓の事例でも、樹冠の薄い早期落葉樹という前提でオニグルミを抽出したところ、現地調査結果と照らし合わせて精度良くオニグルミが抽出できていた。従って、条件が揃っていれば精度良く樹冠厚を求めることは可能と考える。

樹冠厚のデータは鳥類などの生態系の評価だけでなく、葉面積指数(LAI)の算出⁹⁾や森林によるCO₂固定量の算出などの根拠にも使える情報である。ただし、葉の繁り具合の良い照葉樹林などでは、レーザパルスが樹冠の内部まで透過せず樹冠の表面のみで反射してしまい、見た目の樹冠厚が薄くなって過小に評価される可能性がある。

・落葉樹と常緑樹の区分

活葉期と落葉期の2時期の航空レーザ測量データが必要である。ただし、落葉樹と常緑樹の区別は、空中写真の判読や衛星画像の解析でも求めることができる。また、既存の現存植生図の活用も考えられる。従って、これらの情報を上手く組み合わせることで、活葉期の航空レーザ測量データしかなかったとしても、植生三次元情報を加えた植生図の作成は可能である。

なお、落葉樹と常緑樹の区分をできるだけ正確に行うには、落葉期のデータは完全に落葉した降雪直前に計測することが望ましい。一方、落葉が始まった時期に計測した場合、落葉の早い遅いによる区分が可能である。落葉樹と常緑樹の区分を航空レーザ計測と同時に撮影された画像情報から行うことにすれば、道後山北麓の事例で示したように、常緑樹・早期落葉樹・後期落葉樹の3分が可能で、この手法でオニグルミ林を精度良く抽出できた。ただし、樹木が立地する標高等の条件により落葉の時期が変わってくるので、計測範囲が広い場合には、この手法で一義的に早期落葉樹と後期落葉樹を区分できないこともあり得ることに留意する必要がある。

・単層と複層の区分

単層と複層の区分には、差分法と透過率法という2つの手法がある。

差分法は2時期の航空レーザ測量データが必要である。差分法は、落葉樹のうち落葉期の植生高が一定以上の高さあるグリッドに対し、そこに常緑樹の中低木が存在すると判断して複層とみなす手法である。活葉期と落葉期のDSMさえあれば簡便に求めることができる手法である。しかし、落葉樹の下に常緑樹があるパターンのみでしか適用できない。羅臼岳ではこの手法で単層と複層を区分したが、毎木調査結果との比較では、必ずしも整合性が良い訳ではなかった。

一方、透過率法は、活葉期の航空レーザ測量データのみで区分が可能である。こちらは各グリッドの上下方向のレーザパルス反射点の空間分布から単層・複層を区分する方法である。従って、樹冠厚の算出と同様に、樹冠内の葉で反射するレーザパルスが多いほど正確に求まるので、レーザパルスの密度はできるだけ高い方がよい（例えば1m²に4点以上など）。また、ランダムポイントデータに遡って解析する必要があるため、差分法に比べて複雑なデータ処理技術が必要となる。道後山北麓ではスギ・ヒノキ植林地を除いて常緑樹はほとんど無かったため、透過率法で単層と複層の区分を行ったが、現地調査の結果では複層と判断された高木の下には樹高数m程度の低木が存在しており、概ね正確に樹林の層構造を捉えていた。

3) 既存の航空レーザ測量データを用いた場合に取得可能な情報の整理

- ①. 2時期の航空レーザ測量データがないと取得できない情報
 - ・落葉樹と常緑樹の区分（空中写真や衛星画像による代用は可能）
 - ・単層と複層の区分（差分法）
- ②. 活葉期の航空レーザ測量データのみで取得可能な情報
 - ・植生高（2時期のデータがあった方が望ましい）
 - ・樹冠厚（レーザパルスの密度はできるだけ高い方がよい）
 - ・単層と複層の区分（透過率法）（レーザパルスの密度はできるだけ高い方がよい）
- ③. 落葉期の航空レーザ測量データのみで取得可能な情報
 - ・地形分類（活葉期のデータの場合は、植生の繁茂状況により可能）
 - ・常緑樹の植生三次元構造（植生高、樹冠厚、単層と複層の区分（透過率法））

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

航空レーザ測量による三次元情報で、これまでにない精密な地形・植生の三次元構造の把握が可能となり、植生三次元構造を反映した植生図を作成することができた。これまでの植生図は、植物社会学的現存植生図では種組成が凡例の属性情報の主体であり、群落構造に関する情報は極めて大雑把にしか示されてこなかった。本研究により、構造の詳細な情報を伴った「三次元植生図」の作成に道が開け、その環境技術開発上の意義は大きい。

また、詳細DEMによる地形解析結果から、解像度の異なるDEMにより各地形要素の分布特性がどのように変わるのかなどの、地形学的に興味のあるデータが得られた。また、50mDEMでは尾根谷密度が地質と関連性が有ること、1mDEMの尾根谷密度の数値から鉄穴流し跡地の抽出の可能性が指摘されるなど、興味深い知見を得ることができた。航空レーザ測量データから捉えた植生三次元構造は、単に生物多様性を評価するだけでなく、斜面の安定性評価に活用することも可能であり、国土保全分野への科学的波及効果も大きい。

(2) 環境政策への貢献

航空レーザ測量による三次元情報で、これまでにない精密な地形・植生の三次元的な把握が可能となり、面的に行われるミティゲーション、自然再生事業など生物多様性の保全・再生に資する事業の基盤情報を整備する際の有力な手段となり得る。レーザ反射点の地表面上への到達の度合い(透過度)からLAIを求めることができ⁹⁾、森林の健全性の評価や二酸化炭素固定量の評価などに活用されることも期待できる。

今回作成した景観生態学図は、環境省地方環境事務所等で必要な情報についてヒアリングして作成しており、自然環境行政部門の基礎情報として活用されることが期待できる。航空レーザ測量データを活用して景観生態学図を作成する手法の一般化を今回の事例研究を通して行っており、マニュアル(案)を試作したことも、今後の環境政策展開上重要な成果である。

今回集約したデータセットについては、原則何らかの方法で公開する予定であるため、原生的自然環境地域や里山環境地域での環境政策に活用可能な、環境モニタリング情報の提供にも繋がる。

6. 引用文献

- 1) 宮地直道・中川光弘・吉田真理夫 (2000) 羅臼岳火山における最近2200年間の噴火史. 火山, 45(2), 75-85.
- 2) 小荒井衛・佐藤浩・江田敏幸・伊藤麻子・宮坂聡・鈴木浩二 (2007) 都市緑地の熱緩和効果判定のための植生三次元構造を考慮したレーザ植生図の提案. 日本写真測量学会平成19年度年次学術講演会発表論文集, 39-42.
- 3) 岩橋純子 (1994) 数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発. 京都大学防災研究所年報, 37B1,141-156.
- 4) Iwahasi J. and Pike R.J. (2007) Automated classification of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86, 409-440.
- 5) 貞方昇 (1996) 中国地方における鉄穴流しによる地形環境変貌. 溪水社, 広島, pp.309.
- 6) 猪木幸男・坂本亨 (1977) 5万分の1地質図幅「多里」, 地質調査所.
- 7) 小荒井衛 (2008) 地形分類図とDEMを活用した磐梯火山のハザードマップに関する地理情報解析. 地学雑誌, 117, 439-454.
- 8) 小荒井衛 (2009) 解像度の違うDEMによる東北地方の火山地形解析. 日本火山学会講演予稿集2009年秋季大会, 68.
- 9) 佐藤浩・小荒井衛・江田敏幸・伊藤麻子 (2008) 新宿御苑における航空レーザ測量データを用いた樹木の葉面積指数 (LAI) のマッピング. 写真測量とリモートセンシング, 47(3), 37-47.

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

- 1) 小荒井衛・佐藤浩・中埜貴元 : 地図, 48, 3, 34-46 (2010)
「航空レーザ計測による植生三次元構造を反映した植生図の作成」
- 2) 小荒井衛・中埜貴元・佐藤浩・長澤良太・日置佳之・司馬愛美子・中山詩織 : 日本リモートセンシング学会誌, 31, 1, 36-44 (2011)
「中国山地の鉄穴流し跡地における航空レーザ計測を用いた景観生態学的研究」

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 小荒井衛・山下亜紀郎・長澤良太 : 地理, 55巻9月号, 9-11 (2010)
「景観生態学図による生物多様性評価の可能性」
- 2) 小荒井衛 : 地理, 55巻9月号, 12-20 (2010)
「航空レーザを使った景観生態学的研究」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Koarai M and Sato H P: *31st International Geographical Congress, Tunis, Tunisia, (2008)*
“Landscape-Ecological Map using LIDAR Survey Data for Biodiversity Evaluation of National Heritage Area.”
- 2) 小荒井衛・中埜貴元・岩橋純子・廣瀬葉子：日本地理学会2009年春季学術大会（2009）
「原生自然環境（知床）での植生三次元構造に基づく航空レーザ植生図作成の試み」
- 3) 小荒井衛・中埜貴元・廣瀬葉子：日本地球惑星科学連合2009年大会（2009）
「知床半島羅臼岳での植生三次元構造に基づく航空レーザ植生図作成」
- 4) 小荒井衛・中埜貴元・長澤良太・日置佳之・司馬愛美子・中山詩織：日本写真測量学会平成21年度年次学術講演会（2009）
「航空レーザ測量で把握可能なかなな流し関連の地形と植生」
- 5) 小荒井衛・中埜貴元・長澤良太・日置佳之：日本地質学会第116年学術大会（2009）
「航空レーザデータを活用した里山地域（「鉄穴（かなな）流し」の行われた地域）の景観生態学的評価—ジオパーク的な視点から—」
- 6) 小荒井衛・佐藤浩・中埜貴元：第18回地理情報システム学会学術研究発表大会（2009）
「航空レーザ計測による羅臼岳の景観生態学的研究」
- 7) 小荒井衛・中埜貴元・司馬愛美子・長澤良太・中山詩織・日置佳之：CSIS DAYS2009（2009）
「航空レーザデータによる中国山地の景観生態学的研究」
- 8) Koarai M, Nakano T, Iwahashi J, and Sato HP: *24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile, (2009)*
“Landscape ecological map using 3-Dimensional vegetation structure and micro landform classification detected by LIDAR survey.”
- 9) Koarai M, Nakano T, Iwahashi J, and Sato HP: *24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile, (2009)*
“Three dimensional vegetation structure map using LIDAR survey data.”
- 10) 小荒井衛・佐藤浩・中埜貴元・吉田剛司・山下亜紀郎・西謙一・長澤良太・日置佳之・司馬愛美子・中山詩織：日本リモートセンシング学会第47回（平成21年度秋季）学術講演会（2009）
「世界自然遺産地域や里山地域での生物多様性評価のための航空レーザ計測の活用—微地形と植生三次元構造との関連性の解析から—」
- 11) 小荒井衛・山下亜紀郎・長澤良太：日本地理学会2010年春季学術大会（2010）
「シンポジウム「景観生態学図による生物多様性評価の可能性」の趣旨説明」
- 12) 小荒井衛・中埜貴元・佐藤浩・岩橋純子・廣瀬葉子・今井靖晃・森田太一：日本地理学会2010年春季学術大会（2010）
「航空レーザを用いた三次元植生区分の試み」
- 13) 小荒井衛・中埜貴元・佐藤浩：日本写真測量学会平成22年度年次学術講演会（2010）
「鉄穴流し跡地におけるレーザ植生図作成と地形解析」
- 14) 小荒井衛：公開ワークショップ「生物多様性とリモートセンシング技術」（2010）
「リモートセンシングが生物多様性を守る」
- 15) Koarai M, Nakano T, Sato H P, Nagasawa R and Hioki Y: *International Geographical Union Regional Conference, Tel Aviv, Israel, (2010)*
“Landscape Ecological Map using LIDAR Survey Data for Biodiversity Evaluation of Satoyama Region.”

- 16) Koarai M, Nakano T, Sato HP, Yoshida T, Yamashita A, Nagasawa R and Hioki Y: 国際写真測量学会 第VIII部会シンポジウム, 京都, 日本, (2010)
 “Landscape Ecological Mapping using LIDAR Data for Biodiversity Evaluation.”
- 17) 小荒井衛・中埜貴元・乙井康成・佐藤浩: 第19回地理情報システム学会学術研究発表大会 (2010)
 「航空レーザで把握した植生三次元構造による景観生態学的解析」
- 18) 小荒井衛・乙井康成・中埜貴元・吉田剛司・山下亜紀郎・長澤良太・日置佳之: 日本地理学会2011年春季学術大会 (2011)
 「航空レーザを用いた知床半島と中国山地における景観生態学図の作成」
- 19) 小荒井衛・乙井康成・中埜貴元・吉田剛司・山下亜紀郎・長澤良太・日置佳之: 地球惑星科学連合大会2011年大会 (2011)
 「航空レーザ技術で作成した景観生態学図について」
- 20) Koarai M, Nakano T, Otoi K, Sato PH, Yoshida T, Yamashita A, Nagasawa R and Hioki Y: *25th International Cartographic Conference*. Paris, France, (2011)
 “Landscape ecological maps for biodiversity evaluation using LIDAR data.”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

- 1) 景観生態学図による生物多様性評価の可能性 (2010年3月28日、法政大学、観客60名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

- 1) 日本国際地図学会 学会賞論文賞

表彰年月日: 平成23年2月26日

表彰者氏名: 小荒井衛、佐藤浩、中埜貴元

受賞論文: 小荒井衛・佐藤浩・中埜貴元 (2010) : 航空レーザ計測による植生三次元構造を反映した植生図の作成, 地図, 48(3), 34-46

- 2) 国際写真測量学会 第VIII部会シンポジウム Best Paper Award

表彰年月日: 平成22年8月12日

表彰者氏名: 小荒井衛

受賞論文: M.Koarai et al. (2010): LANDSCAPE ECOLOGICAL MAPPING USING LIDAR DATA FOR BIODIVERSITY EVALUATION (生物多様性評価のための航空レーザを使った景観生態学図の作成) . *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010, 501-506