

課題名	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
課題代表者名	小荒井衛（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）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	58,000千円（うち22年度 18,000千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>（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</p> <p>（2）原生的自然環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究 酪農学園大学</p> <p>（3）里山環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究 鳥取大学</p>
研究概要	<p>1. はじめに</p> <p>地域の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。近年、航空レーザ測量によって森林の下の詳細な地形や、樹木の三次元構造を捉えることが容易になってきている。これまでの景観生態学図の研究は、縮尺2.5万分1クラスの地形分類図と現存植生図を組み合わせて作成されるものが多かった。しかし、これらの情報は中縮尺の二次元情報であるため、より正確に生物多様性の状況を評価するには、大縮尺で立体構造を持った基図情報が求められていた。そこで、航空レーザ測量によって得られる樹林下の微地形や、樹高や葉群構造などの植生三次元構造を反映した、よりミクロな視点での景観生態学図を作成し、それを生物多様性管理のベースマップとして活用することが期待されている。また、自然度の高い原生的な自然環境だけでなく、古くから人為の開発が入った里山環境の生物多様性評価も重要な課題となっており、人間による自然環境への著しい干渉行為が地域の生物多様性にどのような影響を与えているのかを示した景観生態学図の作成も求められている。</p> <p>本研究では、原生的自然環境の地域として世界自然遺産に認定されている知床半島と、里山環境の地域として古くからたたら製鉄に伴う「鉄穴（かんな）流し」による大規模な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。これらの地域で活葉期と落葉期の航空レーザ測量データを取得した。この航空レーザ測量データから詳細な樹林下の微地形を抽出して、詳細地形データ（Digital Elevation Model: DEM）の解析による微地形分類図を作成した。また、デジタル画像による樹木の判読と2時期の航空レーザ測量データとを組み合わせ得られた植生三次元構造を活用し、植生三次元構造を捉えた植生図を作成した。これらの情報と新規に取得した動植物等の分布情報等を組み合わせ、生物多様性評価に役立つ景観生態学図を凡例レベルから吟味して作成し、生物多様性評価に役立つデータベースを構築した。作成した景観生態学図が、世界自然遺産地区や里山の環境管理にどのように役立つかについての検討も行った。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>研究目的は、航空レーザ測量技術により得られる樹林下の微地形や植生三次元構造を活用して、景観生態学的な視点から地域を詳細に分類し、それに既存の動植物分布や地質等の情報を組み合わせ、生物多様性を評価できる手法を開発することである。</p> <p>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、ルーチン的に景観生態学図を作成する手法を開発することを目標とする。そして、原生的自然環境地域において、航空レーザ測量データにより作成した景観生態学図に特定外来生物や希少種に関する分布情報を加えると、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。また、里山環境地域について、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のかの検討に、景観生態学図が有用であることを示す。</p>

3. 研究の方法

(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

2008年度は活葉期の9月に羅臼岳南東麓の登山道沿い及び知床岬で航空レーザ測量を実施し、2009年度は活葉期の8月に中国山地道後山北麓で航空レーザ測量を実施した。落葉期に計測された航空レーザ測量のアーカイブデータと組み合わせて、季節による植生高差、単層と複層の区分、樹冠の厚さ等の植生三次元構想を捉え、植生三次元構造による植生図（レーザ植生図）を作成した。一方、落葉期の詳細DEMから傾斜、凸度、尾根谷密度（テクスチャ）に着目した自動地形分類を行い、その結果とレーザ植生図や地質図等の既存地理空間情報をGISによりオーバーレイ解析した。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（人為改変による微地形も含む）と特徴的な植生との関連性の解明を行った。

2010年度は、両地区におけるレーザ植生図と自動地形分類図とのGIS解析を追加して行うと共に、これまでの景観生態学的検討結果を参考にして、酪農学園大学、鳥取大学と連携して、景観生態学図（印刷図）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わるデータについて、GISのためのデータセット化を行った。また、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ルーチン化を目指して、これまでの検討結果を基に、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。

(2) 原生的自然環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究

知床岬において、航空レーザ測量によるエゾジカ食害の影響把握の可能性を調べるため、deer line（エゾジカにより樹木の葉が食べられてしまっている高さ）が検出できるかの確認として、2009年度に樹高、枝下高等の現地計測を行うと共に、GPSで鹿不嗜好性植物ハンゴンソウ分布範囲の外周位置を捉える現地調査を行った。また、エゾシカの採食圧の激増に伴う草原植生の劇的な変化に対応して昆虫類や鳥類の局地的生態系が変化している可能性があるため、2009年6月と2010年6月に鳥類相調査を行った。調査手法は、ラインセンサス法とスポットセンサス法を採用した。

一方、羅臼岳では登山者の増加による登山道の荒廃が問題となっていたので、航空レーザ測量データでどこまで登山道の荒廃を捉えられるか検証するため、2009年度に登山道の侵食状況の実態調査を行った。具体的には、岩尾別側登山道の登山口から大沢入口にかけて、登山道の幅、侵食深度、斜度、方位、上空の緑被率を計測した。また、枯死木はキツツキ等の棲みかとして利用されることが分かっており、生物多様性保全に貢献することが考えられることから、2010年度に枯死木の分布状況を現地調査により明らかにし、航空レーザ測量データから枯死木の判別がどの程度可能か検証した。具体的には、羅臼側登山道の2箇所において、枯死木の分布、樹高、胸高直径、天空率を現地計測し、航空レーザ測量データの三次元断面図より枯死木を抽出した結果と比較した。

(3) 里山環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究

中国山地において、高分解能衛星画像による植生分類と、現地調査により作成した全層植生図を、航空レーザ測量により取得された詳細DEMの解析による自動地形分類結果と組み合わせ、鉄穴流しという大規模な人為による地形改変がその地域の植生にどのような影響を与えているか考察を行った。具体的には、活葉期と落葉期に撮影された空中写真と人工衛星画像より相観植生判読を行った。航空レーザ測量データについては、フィルタリング処理により、数値表層データ（Digital Surface Model: DSM）とDEMを作成し、DEMから傾斜、テクスチャ、凹凸の3地形要素を算出し微地形の分類を行った。また、活葉期のDSMと落葉期DEMの差分からDigital Height Model (DHM) を求め、植生三次元構造データを作成した。以上のデータから鉄穴流し跡地の微地形と植生の関係を分析した。

2010年度は、景観生態学図の生物多様性評価のための基盤情報としての利用可能性について評価した。エコトープ（ecotope：景観生態学図で示される地域単位）と動物種の対応関係を明らかにするため、水辺と樹林内を生息地とするヤマアカガエルを対象種として対応関係を分析した。また、種レベルでの多様性評価を行った。種レベルでの多様性は3つの異なる空間レベルで評価される。ある生態系内における種の多様性は α 多様性と呼ばれ、ここでいう生態系とはエコトープと同義である。 β 多様性は、生態系の多様性である。景観生態学図を用いるならば、その凡例数、すなわちエコトープの数と行うことができる。異なる生態系（エコトープ）では、それを構成する生物群集も異なる。そのため、 β 多様性が高くなる（すなわち生態系・エコトープの数が多くなる）と、その景観域全体の種数である γ 多様性も高くなる。2010年の植生調査データを用いて階層別に各植物群落の多様度指数を算出した。

以上の研究内容の体系図と各研究機関の役割を図-1に示す。

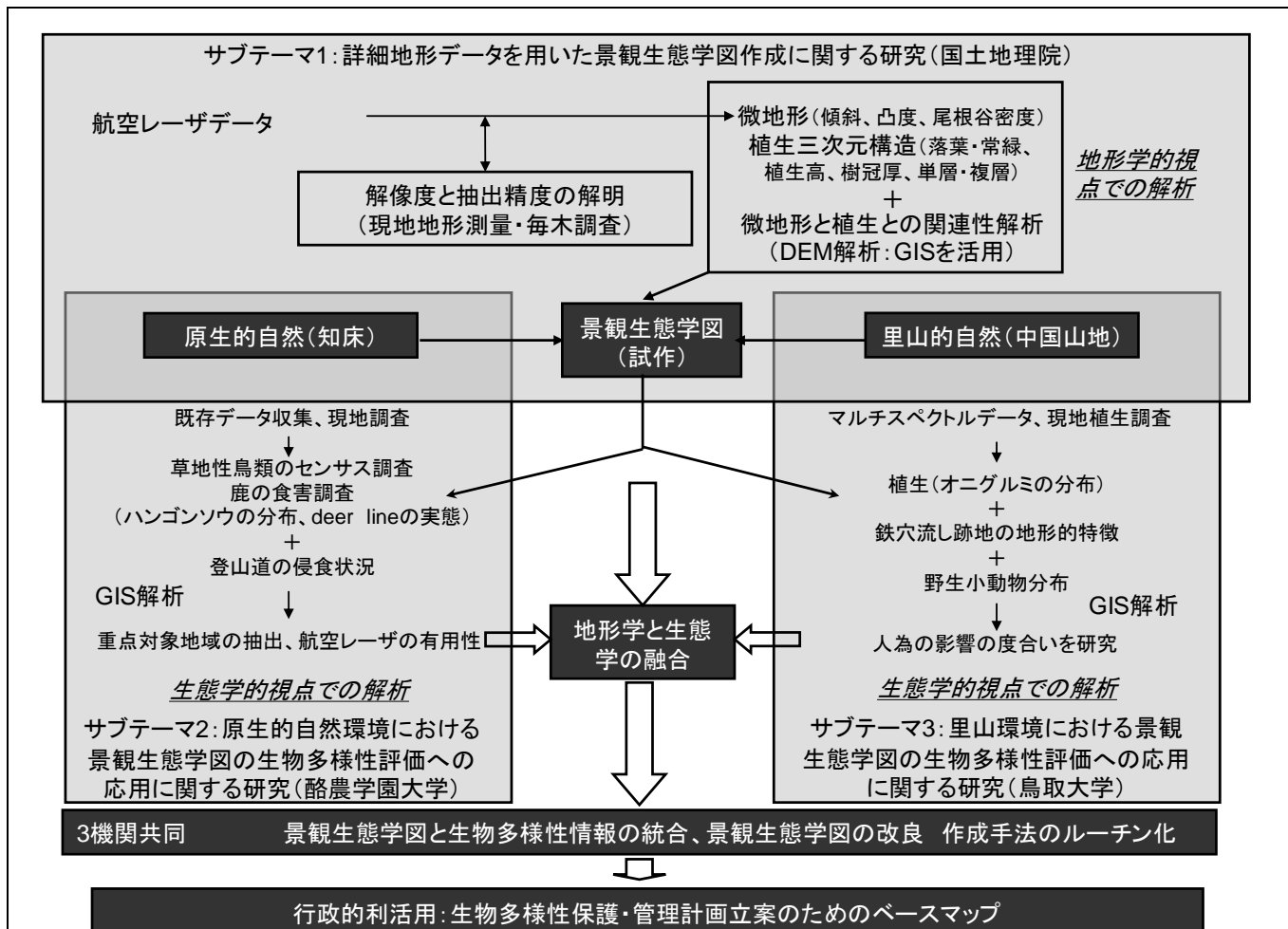


図-1 研究全体の体系図と各研究機関の役割

4. 結果及び考察

(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

・知床半島での景観生態学的検討

2008年9月の活葉期に、羅臼岳南東麓の羅臼側登山道沿い1km×4kmの範囲で0.5mグリッドの航空レーザ測量データを取得し、2004年の落葉期に取得した2mグリッドの航空レーザ測量データと組み合わせて、落葉樹(単層)・落葉樹(複層)・常緑樹の区分に、植生高(低・中・高)、樹冠厚(厚・薄)を掛け合わせて、植生三次元構造を反映した11の凡例からなるレーザ植生図を作成した。環境省2.5万分1現存植生図GISデータとのオーバレイ解析を行い、レーザ植生図が概ね現地の植生状況を反映していることが確認できた。

2009年度は、羅臼側登山道沿いに毎木調査サイトを4サイト設定し、樹冠投影図や林帯側方図を作成して、レーザ植生図や航空レーザ測量のランダムポイントデータと重ね合わせた。その結果、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確認できた。詳細DEMの解析では、傾斜、凸度、尾根谷密度の3つの地形要素に着目した自動地形分類を行い、落葉期の2mDEMによる地形分類結果が、現地の地形状況を最も反映していることが判った。自動地形分類とレーザ植生図とのオーバレイ解析では、羅臼岳の植生は微地形分類よりも標高の高低に依存している結果となった。

・中国山地での景観生態学的検討

2008年11月の落葉期に、鳥取県日南町の道後山北麓25km²で1mグリッドの航空レーザ測量データを取得した。1mDEMから発生させた等高線図を判読することにより、残丘、侵食平坦面、水路跡等から構成される鉄穴流し跡地を抽出することができた。現地調査により、その跡地でオニグルミ林が卓越することが確認できた。

2009年8月の活葉期に、道後山北麓の2km²の範囲で0.5mグリッドの航空レーザ測量データを取得し、落葉期に取得した1mグリッド航空レーザ測量データ及びデジタル画像と組み合わせて、常緑樹、早期落葉樹、後期落葉樹の区分に、植生高(低・高)、樹冠厚(厚・薄)、単層・複層を掛け合わせて、植生三次元構造を反映した12の凡例からなるレーザ植生図を作成した。現地調査により、樹冠厚の薄い早期落葉樹はオニグルミの分布と良く対応することが確認できた。また、羅臼岳と同様の

自動地形分類を行い、50mDEMによる尾根谷密度（0～1の連続値）は地質との対応が良く、花崗閃緑岩では尾根谷密度が高く、蛇紋岩では低いことが明らかになった。一方、1mDEMでの尾根谷密度は、平野部や鉄穴流し跡地などの人工改変が行われた箇所が高く、特に鉄穴流し跡地では尾根谷密度が0.38～0.42の範囲に該当することが判り、詳細DEMの解析により鉄穴流し跡地の抽出が可能であることを示した。

・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

2010年度は2009年度までの両地区の景観生態学的検討結果を踏まえて、酪農学園大学、鳥取大学と連携して景観生態学図を作成した。景観生態学図は、植生分類と地形分類との統合により作成した。植生分類は、活葉期と落葉期の航空レーザ測量データの反射点の高さの変化から落葉単層・落葉複層・常緑に分け、それに樹冠高、樹冠厚を組合せた植生三次元構造区分とした。地形分類は、航空レーザ測量による詳細DEMから傾斜、凸度、尾根谷密度の定量的な3つの地形要素に着目した自動地形分類とした。景観生態学図のグリッドサイズは、樹冠の大きさに近い4mとした。航空レーザ測量のデータを4mグリッドに集約してから区分すると正しく区分されないため、1mグリッドで作成したレーザ植生図、自動地形分類図を4mグリッドに集約した。

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で羅臼岳周辺、活葉期の航空レーザ測量データのみで知床岬の3つの景観生態学図から構成されている（図-2）。羅臼岳南東麓の植生分類については、落葉樹林、針広混交林、常緑樹林、裸地・草地・ハイマツに分け、それに樹冠高を組み合わせた植生三次元構造区分を行った。鹿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、枝下高が4m以上の箇所を重ねて表示した。羅臼岳周辺の植生分類は環境省1/25,000現存植生図の植物群落区分を集約し、知床岬の植生分類は環境省1/25,000現存植生図の植物群落区分を集約したものに樹冠高を組み合わせた区分を行った。鹿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。地形分類は、いずれの範囲も航空レーザ測量の詳細DEMから傾斜・凸度に着目した自動地形分類を行った。なお、羅臼岳周辺の景観生態学図には、登山者の多い岩尾別側登山道において、現地計測に基づく登山道荒廃度も表示した。

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されている（図-3）。出立山の植生分類については、活葉期と落葉初期の2時期の航空レーザ測量データの反射点の高さの変化と空中写真から、常緑樹林（スギ・ヒノキ人工林相当）、落葉時期の早い樹冠薄の落葉樹林（オニグルミ変群集相当）、落葉の遅い落葉樹林（クリ・ミズナラ群集相当）、草地等に分け、それに樹冠高と単層・複層区分を組み合わせた植生三次元構造区分を行った。道後山北麓全体の植生分類は空中写真判読で区分した。地形分類は、いずれの範囲も航空レーザ測量の詳細DEMから、傾斜・凸度に着目した自動地形分類を行った。また、鉄穴流し跡地の分布が1mグリッドDEMを元にした尾根谷密度が0.4前後の範囲にほぼ該当することから、尾根谷密度が一定の数値の範囲を重ねて表示し、「人工改変の可能性あり」とした。

以上のように、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ことで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、鹿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。

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。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。今回集約したデータセットについては、貴重種情報等の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。

また、今回の2地域での景観生態学図の作成経験を踏まえて、航空レーザ測量データを用いた景観生態学図作成手法の一般化を目指して、「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マニュアル（案）（仮称）」をとりまとめた。

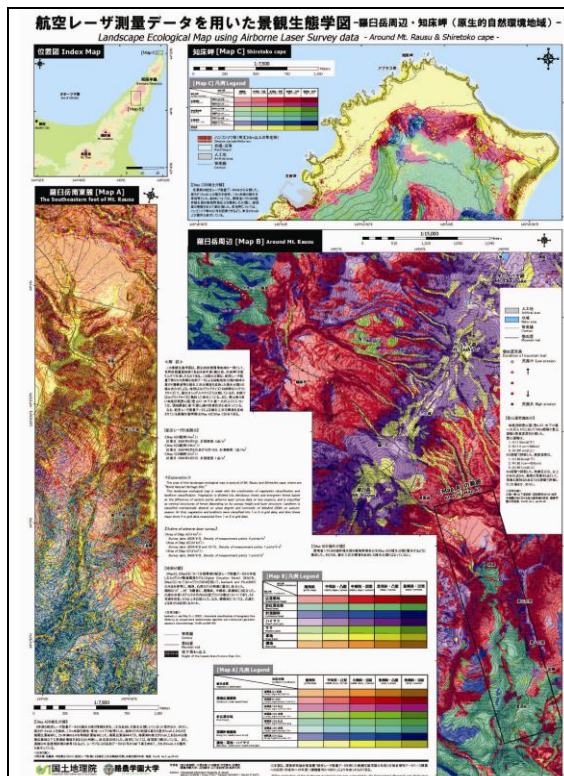


図-2 知床半島の景観生態学図

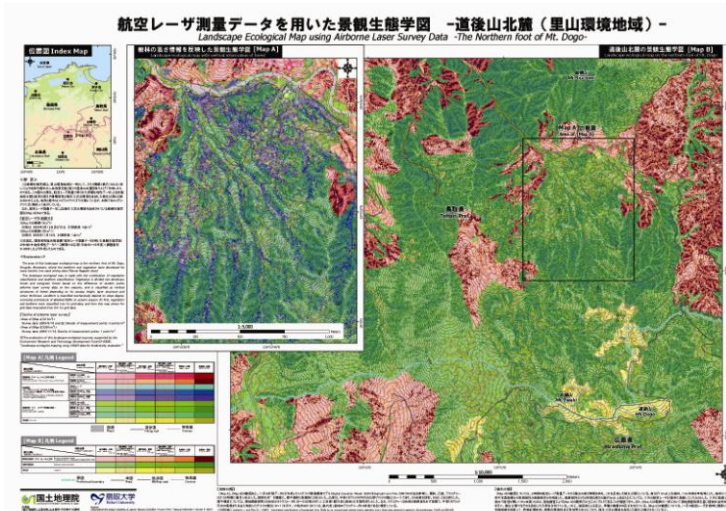


図-3 中国山地の景観生態学図

(2) 原生的自然環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究

・知床岬での景観生態学的検討

知床岬において 2008 年 9 月に計測された航空レーザ測量データを使って、草地植生の高さの違いからエゾシカの嗜好性植物ハンゴンソウの分布図を作成した。2009 年度の現地調査の際に行われた GPS 測量により得られたハンゴンソウの分布と、航空レーザ測量により把握したハンゴンソウの分布（植生高 50cm 以上の高茎草本の分布）とは概ね一致することが確認された。以上の成果を踏まえ、航空レーザ測量データによる三次元情報を加えた知床岬の現存植生図（図-4）を作成した。

知床岬の樹木にはエゾシカの食害により deer line と呼ばれる葉体がない箇所が目立つが、現地で樹木の植生高と枝下高を計測し、航空レーザ測量データから鹿の食害（deer line）が把握可能か否か検証するデータを取得した。その結果、実測値から 1m 程度の誤差はあるものの、航空レーザ測量データによる deer line の抽出は可能であることが判明した。

鹿の食害による草原植生の改変（ハンゴンソウの拡大）が、草原性鳥類の生息環境に及ぼす影響を把握するため、2009 年 6 月と 22 年 6 月に鳥類のラインセンサスとスポットセンサスを行い、2009 年には 10 目 21 科 48 種の鳥類を、2010 年には 10 目 26 科 49 種の鳥類を確認した。

・羅臼岳での景観生態学的検討

2008 年度は、1978 年と 2004 年の高解像度空中写真からデジタル表層モデル（DSM）と植生区分図を作成し、2 時期間の植生成長量を見積もる基礎データを得ることができた。

2009 年度は、羅臼岳の岩尾別側登山道において侵食幅・侵食深等の計測と位置情報の取得を行い、岩尾別側の登山道で荒廃が進行している箇所を抽出した。侵食幅と侵食深の 2 つを指標にして 5 段階で評価した結果、標高 900~1,000m あたりに荒廃の進んだ箇所が集中していることが分かった。詳細な航空レーザ測量データが取得されているのは羅臼側登山道であるが、羅臼側は登山者が少なく登山道の荒廃も進んでいない。そのため、航空レーザ測量データで登山道荒廃状況が把握可能か否かの検証はできなかったが、荒廃の深刻でない登山道の位置把握も航空レーザ測量データで可能であり、荒廃の深刻な別の地域での現状把握に効果が発揮できるものと考えられる。

2010 年度の枯死木の現地調査では、枯死木は樹高や胸高直径が小さく、成長段階の時期に周りの樹木により淘汰された可能性が高いことが判った。航空レーザ測量データの三次元断面図内で、樹冠の点群と地表面の点群の間にあるプロットを枯死木の可能性があるとして 84 プロット選択したが、現地調査による枯死木の位置と一致するものは 7 箇所のみであった。航空レーザ測量データ解析から枯死木を判別できる可能性は低い。枯死木が細すぎてレーザパルスが枯死木自体に当たらなかったためと考えられる。

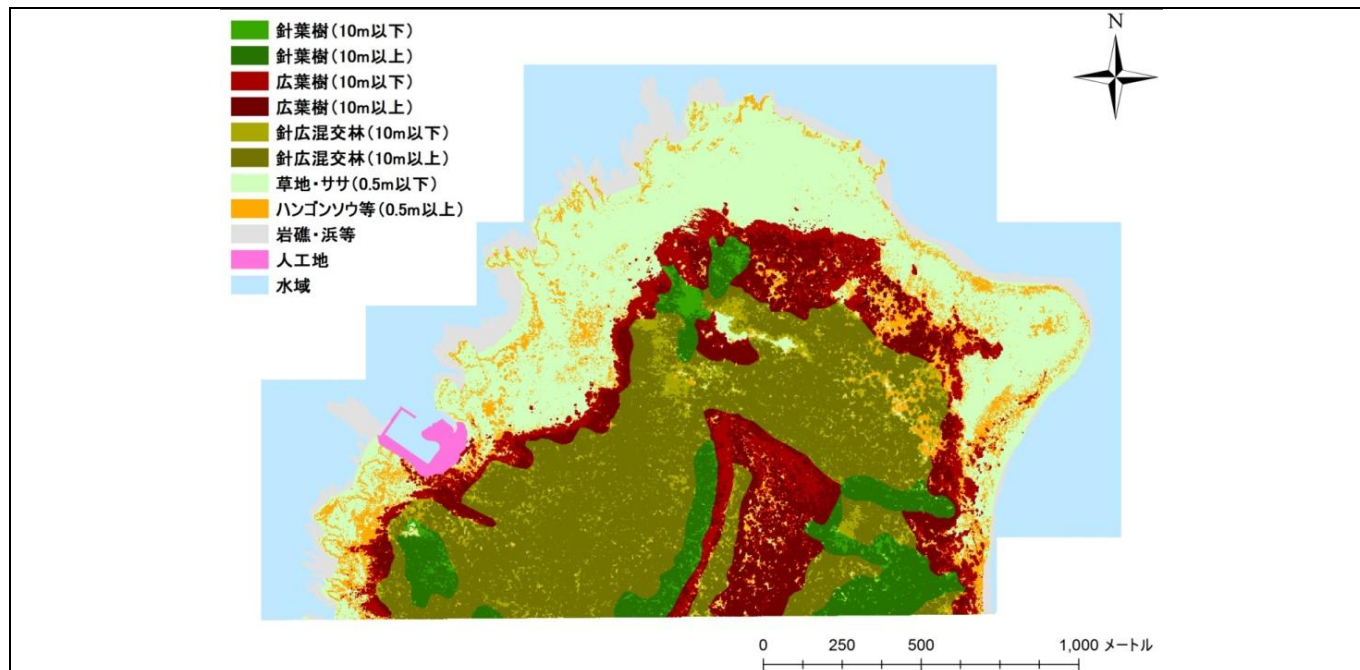


図-4 知床岬の三次元情報を加味した現存植生図

(3) 里山環境における景観生態学図の生物多様性評価への応用に関する研究

・航空レーザ測量データを用いた植生三次元情報の抽出

2008年11月の落葉期に、鳥取県日南町の道後山北麓25km²を対象に、1mグリッドの航空レーザ計測を行った。その結果、広域で高精度な地形情報を取得することができ、地形データを視覚化することで、過去に行われた大規模な地形改変を把握することができた。また、高分解能衛星IKONOSの画像解析により植生分類を行うとともに、現地植生調査で植生図を作成し、毎木調査サイトで樹高や樹冠厚等の計測を行った。

2009年9月の活葉期に、道後山北麓地区の一部2km²で0.5mグリッドの航空レーザ計測を行っており、高精度の三次元情報と植生情報を組み合わせることで、たたら製鉄（鉄穴流し）による地形改変によって生じた微地形が影響を与えて、河川最上流部では特異なオニグルミ林植生が分布していることが明らかとなった。高分解能衛星IKONOS画像分類により捉えたオニグルミの分布は、1mDEMによる自動地形分類が緩・凹・粗の地形で卓越することが判った。さらに、地上植生調査により全層植生図を作成したが、下層植生（低木層・草本層）と微地形の対応も明らかにできた。鉄穴流し跡地に特徴的な地形として、詳細DEMの解析から鉄穴残丘と侵食平坦面を抽出し、全層植生図とオーバーレイ解析することにより、オニグルミが侵食平坦面で卓越し、クリ、シデが鉄穴残丘で卓越することを確認できた。以上のデータを基に、高木層植生図と鉄穴流し跡地に特徴的な微地形を組み合わせ、景観生態学図を試作した。中国地方の里山は、近世以降、たたら製鉄により地形と植生が改変されてきたが、生物多様性保全の観点からすると、必ずしもマイナスの影響だけをもたらした訳ではなく、むしろ広大なオニグルミ林の成立基盤形成のようにプラスに働く場合もあることが判った。

・小動物の生息環境調査

ヤマアカガエルの分布図と景観生態学図をオーバーレイして、各凡例にヤマアカガエルが出現した頻度をグラフ化した（図-5）。ヤマアカガエルの出現頻度に占めるエコトープの割合は、植生はオニグルミが高木層で優占し、地形は緩中傾斜で人工改変の可能性とされたエコトープで約60%を占めていた。特に、オニグルミー緩中傾斜・凹型（人工改変の可能性あり）エコトープでは浅い水たまりが形成されているものが多くあり、産卵に適した環境となっている。クリ・イヌシデ群落－緩中傾斜・凹型または凸型（人工改変の可能性あり）のエコトープにも比較的多く出現したのは、これらが、オニグルミが優占するエコトープと近接しているためと考えられる。これを合わせると、鉄穴流しによって改変されたために形成された可能性があるエコトープにヤマアカガエルが出現した回数は、全体の約80%を占めていた。

ヤマアカガエルは、平地から丘陵地にかけての里山で水田と山林が接する地域に多く分布する。本研究地のような奥山の河川源流部に出現することは少ない。奥山では通常、溪谷がV字谷状になり、ヤマアカガエルの産卵に適した浅水域が形成されにくいためと考えられる。ところが、本研究地では鉄穴流しの地形改変によって、奥山でありながら緩傾斜の凹地が広く形成されている。さらに、本研究地の植生は主に緩中傾斜の谷部ではオニグルミが優占し、それに接しながらクリ・イヌシデ群落が広く分布している。これらはいずれも落葉広葉樹林であり、ヤマアカガエルの食性に適した餌環境が

形成されていることも、本研究地が生育に適している理由であろう。

本研究地では、鉄穴流しによる地形改変によって里山における水辺-落葉樹林モザイクと類似した環境が奥山に形成されたことが、ヤマアカガエルの生育に好適な環境となった要因と考えられる。鉄穴流しという一大環境改変は、植生だけでなく動物相にも影響を与え、通常とは異なる生態系を形成することによって、奥山での生物多様性を高める作用をした可能性がある。

・景観生態学図による生物多様性評価

階層別の多様度指数を見ると（表-1）、最も多様度指数が大きかったのは草本層のミゾソバ群落、次いで低木層のクロモジ群落、草本層のイヌトウバナ群落であった。全層群落での多様度指数を求めため、Shannon関数について合計値をそれぞれ求め数値が3.0以上であったのは、クリ・イヌシデークロモジササノハスゲ群落、クリ・イヌシデーチシマザサーミゾソバ群落、クリ・イヌシデーミツバウツギーミゾソバ群落、オニグルミ・スギーミツバウツギーミゾソバ群落であった。高木層でクリ・イヌシデ、草本層でミゾソバが優占する群落で種多様性が高かった。ミゾソバ群落は湿性草本群落で、出現種数が他草本層の群落と比較して際立って多いことがその要因である。多様な樹種が混交するクリ・イヌシデ群落は多様度指数が高いため、高木層がクリ・イヌシデ群落である各群落で、高木層がほぼオニグルミ1種に限定されているオニグルミ群落に比べて多様度指数が高かった。

本研究地では鉄穴流しによる地形改変によって広くオニグルミ群落が成立したと考えられる。本来は山地源流部に立地しないオニグルミ群落が鉄穴流し跡の地形で成立していることは、本研究地で群落数すなわち β 多様性を高める方向で作用したものと考えることができる。しかし、高木層でオニグルミが優占する群落の α 多様性は必ずしも高くないため、オニグルミ群落の成立が本研究対象地全体の種の多様性（ γ 多様性）を高めたとは必ずしも言えない。

研究対象地は、比婆道後帝釈国定公園の第2種特別地域に指定されている。今回の研究の結果、本研究地はかつて強度の人為が加わり、その後長期間放置されてきたために成立した生態系が存在する。このような事例は、古くから開発が進み、強弱さまざまな人為が長期間に渡って自然環境に加えられた中国山地ならではの現象であると解釈することもできよう。

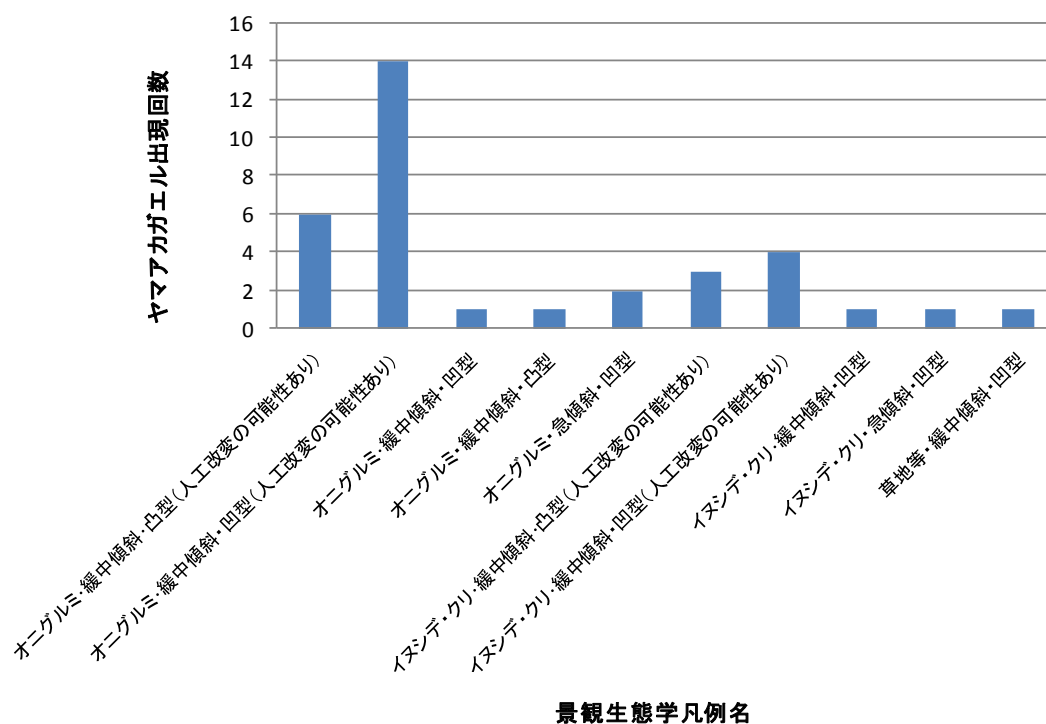


図-5 ヤマアカガエルと景観生態学図の凡例の出現頻度

表-1 階層別多様性指数

階層	群落	Simpsonの単純度	Shannon関数
高木層	クリ・イヌシデ(A)	0.62	1.04
	オニグルミ(B)	0.28	0.47
	オニグルミ・スギ(C)	0.86	0.60
低木層	クロモジ(a)	0.55	1.12
	チシマザサ(b)	0.38	0.68
	ミツバウツギ(c)	0.38	0.68
草本層	イヌトウバナ(1)	0.52	1.07
	ミゾソバ(2)	0.70	1.65
	ササノハスゲ(3)	0.47	1.03
	植被率5%以下(4)	0.30	0.52

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

第一は、航空機レーザ測量データを用いることにより、地形と植生を極めて詳細に、把握・解析・図化できることを明らかにした点である。特に、植生の三次元構造の図化に道を開いた点は、本研究の特筆すべき成果である。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。このことは、相観植生図でも同様であった。然るに、本研究の方法では、高木層、低木層、草本層など各階層の高さや植被率が面的に把握できるため、群落構造に関する情報の精度が飛躍的に向上した。本研究により、縮尺1/1,000～1/5,000程度以上の詳細植生図で、構造の詳細な情報を伴った「三次元植生図」の作成に道が開けたわけであり、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により地形の特性を示す指標の値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。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、鉄穴流しと地形との関連性の研究においても、興味深い知見を得ることができた。

第二は、生物多様性の保全に関する様々な分野で航空レーザ測量データの有用性を示したことである。二次元の地図情報であれば種の分布情報は簡単に把握できるが、生物多様性の保全を推進するためには多くの限界が生じていた。例えば、鳥類は植生構造に強く依存しており、植生を面的（二次元）に把握するだけでは不十分であり、その階層（三次元）構造を理解する必要がある。高木で営巣し囀る鳥から、草地や地面にて繁殖するものなど様々な階層に多様な鳥類が分布する。このような生物多様性に関するフィールド研究と地図を結び付けることを可能とする植生三次元構造の地図化に成功した本研究の科学的な意義は大きい。シカの植生被害もレーザ測量により把握することは可能である。航空レーザ測量を野生動物保全に利用することは期待されるが、その実績結果は欠如しているので、本研究で新たな科学的な知見としての価値の多い結果を導くことに成功した意義は大きい。

第三は、たたら製鉄・鉄穴流しによる人為改変地にオニグルミ林が成立したことを実証した点である。オニグルミ林は、通常、河川の中・下流域に小規模なパッチ状に成立しており、河川上流域に大規模な群落が存在することは稀である。本研究フィールドでは、鉄穴流しによって谷底面に比較的緩傾斜の土地が形成され、そこが湿潤立地であるためにオニグルミ林が成立し、結果的にはあるが河川上流部の植生の多様性が高まる結果となった。これは、環境史の分野でもこれまで報告されていない興味深い現象であり、人為と生態系の関係を考究する上で新しい視座を提供したものと考えられる。

(2) 環境政策への貢献

第一は、本研究で開発された、地形・植生等の図化技術が、生物多様性センターが行う自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）等の精度向上・効率化に寄与し得る点である。特に、現存植生図の図化技術向上にとって、本研究の貢献は大きいと考えられる。航空機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。また、レーザ反射点の地表面上への到達の度合い（透過度）から葉面積指数（LAI）を求めることができ、森林の健全性の評価や二酸化炭素固定量の評価などにも繋がる。特に、葉群構造等の植生三次元構造の違いが、樹種の区分だけでなく鹿の食害把握にも活用できれば、他の国立公園等への応用も期待される。また、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い、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。

第二は、原生的自然環境地域や里山環境地域での有用なモニタリング情報の提供である。知床半島では鹿の食害と登山道のオーバーユースが一番の問題になっており、航空レーザ測量データがこれらの問題の把握にどれだけ活用可能かを検証するのに必要な現地データを取得することができた。特に、知床岬の鳥類相の調査結果とハンゴンソウの分布情報は、今後知床岬における鹿の食害による生物多様性への影響のモニタリングを行う上で、基礎となる資料である。今回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っ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。

第三は、本研究が生物多様性評価と自然再生に新しい視点を提供する点である。本研究で扱ったたたら製鉄・鉄穴流しは強度で不可逆的な環境変化であったが、80～100年という長年月がかかったとはいえ、発達した生態系が形成され人為なしでは形成されない立地ができたことで、結果的にはあるが植生の多様性が向上した可能性があることが明らかになった。我が国の国土には、強度で不可逆的な人為変化地が数多く存在しており、そうした場所でどのような自然再生の指針が適切かは未知である。本研究の知見は、いわゆる置き替え型（replacement、もと存在した生態系とは異なる生態系を再生目標とする）自然再生事業における目標設定や再生に要する期間の見積もり等に新しい視点を提供し、環境政策の巾を広げることに寄与することが期待される。

6. 研究者略歴

課題代表者：小荒井衛

1962年生まれ、茨城大学理学部卒業、博士（理学）、国土地理院測図部写真測量技術開発室長、企画部地理情報システム推進室長、現在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長

主要参画研究者

(1) 1) : 小荒井衛（同上）

2) : 佐藤浩

1967年生まれ、筑波大学自然学類卒業、博士（工学）、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主任研究官、現在地理空間情報部電子国土調整官

3) : 乙井康成

1963年生まれ、北海道大学大学院理学研究科修士課程修了、国土地理院地理調査部環境地理課長、現在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主任研究官

4) : 中埜貴元

1977年生まれ、富山大学大学院理工学研究科修了、博士（理学）、現在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研究官

(2) 1) : 吉田剛司

1970年生まれ、京都府立大学農学研究科修了、博士（農学）、財団法人 自然環境研究センター研究員、現在酪農学園大学環境システム学部准教授

2) : 山下垂紀郎

1975年生まれ、筑波大学大学院地球科学研究科単位取得退学、博士（理学）、東京大学空間情報科学研究センター研究機関研究員、酪農学園大学環境システム学部講師、現在筑波大学大学院生命環境科学研究科助教

(3) 1) : 長澤良太

1956年生まれ、立命館大学大学院文学研究科地理学専攻博士後期過程修了、博士（地理学）、アジア航測、パスコ、現在鳥取大学農学部教授

2) : 日置佳之

1957年生まれ、東京農工大学農学部卒業、博士（農学）、東京都、土木研究所主任研究員、現在鳥取大学教授（農学部附属フィールドサイエンスセンター）

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1)査読付き論文

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」

(2)査読付論文に準ずる成果発表（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可）

該当しない。