

赤石山脈南端部におけるハイマツ群落の分布 高分解能衛星画像を用いた把握

尾関雅章¹・堀田昌伸¹・浜田 崇¹

ハイマツの世界的分布南限域にあたる南アルプス南端部の光岳～上河内岳地域におけるハイマツ林の分布現況として、高分解能衛星画像を用いてハイマツ群落分布図を作成した。現地調査をもとに算出した衛星画像の分類精度（全体精度）は0.849であった。ハイマツ群落の分布南端部の光岳南方の群落を含む、本地域のハイマツ群落の詳細な分布図が作成された。

キーワード：ハイマツ，高山帯，ライチョウ，南限，リモートセンシング

1. はじめに

手ハイマツ *Pinus pumila* は、北海道、本州中部地方以北、千島、サハリン、カムチャッカ、シベリア東部、中国東北部、朝鮮半島北部に分布するマツ科の常緑低木で、日本では、森林限界以高の植生における優占種となっている。

このハイマツが優占する高山植生域は、その分布域が極めて限定的であること、またその形成に温度、風衝、積雪などの気候条件が深く関与していることから、極地と同様に気候の変化にきわめて脆弱な生態系の一つと考えられる¹⁾。

なかでも、日本の本州中部山岳のうち、赤石山脈南端部に位置する光岳（2591m）は、ハイマツ群落の世界的な分布南限となっており^{2), 3)}、気候変動によってその分布可能域が敏感に変動する可能性がある。

同時に、光岳に近い茶臼岳（2604m）からイザルガ岳（2540m）は、周北極性のライチョウ *Lagopus mutus* の世界的な分布南限域ともなっている。ライチョウは、ハイマツ群落を含む高山植生域を主な生息場所とし、ハイマツ群落内に営巣するなど、ハイマツ群落への依存度が高いことから、ハイマツの分布可能域の変動は、ライチョウの分布可能性にも影響を及ぼすことが考えられる。

しかし、本地域のハイマツ群落の分布に関しては、縮尺 1/50,000 の植生図^{4), 5)} は作成されているものの、詳細な資料に乏しい。そこで、世界的な南限集団である赤石山脈南端部のハイマツやライチ

ウの分布可能域の変動可能性や、ライチョウの生息環境に関する解析のための基礎資料の作成を目的として、本地域のハイマツ群落の分布現況把握を行った。

ハイマツ群落の分布現況の把握にあたっては、対象地域が高山のため、野外調査の制約を受けること、また、リモートセンシングデータによるハイマツ群落の分布把握の有効性が示されていることから^{6), 7)}、高分解能衛星画像を用いてハイマツ群落分布図を作成することとした。

2. 調査地と方法

2.1 調査地および分布図作成範囲

本研究の対象地域は、ハイマツ群落の南限とライチョウの南限集団の分布域を含む上河内岳（2803m）から光岳にかけての山域とした（図1）。対象地域では、予備調査およびハイマツ群落分布図作成に用いた衛星画像の目視による判読で、約2400m 以上にハイマツ群落が確認されたことから、それらの地域を包括する2300m 以上の9.95km²をハイマツ群落の分布図作成範囲とした（図1）。

なお、分布図作成範囲の北端と南端は、標高2300mの等高線ではなく、既存の縮尺1/50,000植生図^{4), 5)}で、上河内岳北方から茶臼岳南方にかけてと、光岳周辺に位置するハイマツ群落のパッチ（斑状のまとまり）の北端と南端の外側で設定した（図1）。そのため、この分布図作成範囲の外側には、分布図作成範囲内と連続するハイマツ群落は分布しない。

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

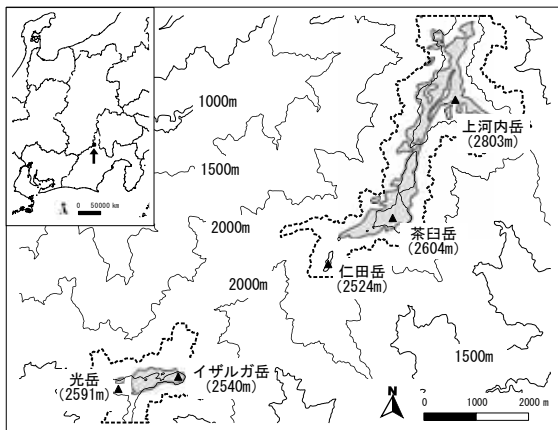


図1 調査地位置図。点線で囲まれた範囲がハイマツ群落分布図作成範囲（標高 2300m 以上）。斜線部は既存の縮尺 1/50,000 植生図^{4), 5)}のハイマツ群落分布域。

2.2 ハイマツ群落分布図の作成

調査対象地域のハイマツ群落分布図作成のため、高分解能衛星画像(GeoEye-1 2010年7月23日撮影)を用いた画像分類を行った。GeoEye-1 画像は、マルチバンドの場合、地上分解能が 165cm と高解像度で、可視光の青色域、緑色域、赤色域の各バンドおよび赤色・近赤外域のバンドのデータからなる。

GeoEye-1 画像をオルソ幾何補正し、可視光の青・緑・赤色域の各バンドの輝度値および赤色・近赤外域の輝度値から算出した正規化植生指数 (NDVI) 値および、地形条件を示す標高、傾斜、斜面方位、曲率を用いて、教師付き分類を行った。教師付き分類とは、衛星画像の画像分類手法のうち、分類項目の判明もしくは判読可能な領域を教師データとし、他の画素の情報（ここでは各バンドの輝度値・NDVI・地形情報）がどの領域の教師データにもっとも近いかによって各画素を分類項目に区分する方法である。

植生の教師データは、現地調査（2009年10月）および衛星画像の目視による判読により作成した。標高および地形形質は、国土地理院によって作成された数値標高モデル (DEM) である 10m メッシュ (標高) を GeoEye-1 画像と同解像度に内挿・算出して用いた。

画像分類手法には、SMAP (連続事後確率最大化推定法: Sequential Maximum A Posteriori-estimation) を用いた。この方法は、近接せるピクセルの類似性を考慮するため、同一クラスのピクセルの塊ができやすい利点がある^{8), 9)}。ハイマツ群落は、密なハイマツの樹冠が連続する群落を形成する。本報では、同法による分類が、ハイマツ群落中に他の分類

項目の小数のピクセルの発生を抑制する上で有効と考え採用した。

画像分類では、まず分布図作成範囲の衛星画像の目視による判読で識別可能なハイマツ群落、オオシラビソ・シラビソ高木林、ダケカンバ高木林、亜高山草本植生、自然裸地・岩石地、残雪、雲、雲陰を分類項目として分類し、この分類結果からハイマツ群落域を抽出した。なお、ここで抽出の対象としたハイマツ群落は、ハイマツの単木的な林分を除く、面積 100m² (縮尺 1/5000 地図上で 2mm × 2mm) 以上の群落とした。

これら GeoEye-1 画像の処理および植生分類作業には、上述の SMAP を含む画像解析機能を有する GIS ソフトウェアの GRASS GIS 6.4.0¹⁰⁾ を主に使用した。

また、ハイマツ群落分布図作成範囲のうち、雲および雲陰により、植生が判読できなかった範囲 (0.08km², ハイマツ群落分布図作成範囲の約 0.8%) については、現地調査 (2009年10月・2011年7月) とヘリコプターによる上空からの確認ならびに写真撮影 (2011年11月) を行ない、調査時に撮影した写真画像をもとに補足した。

2.3 画像分類によるハイマツ群落分布図の精度検証

画像分類結果の検証のため、上河内岳から仁田岳間の登山道沿いで水平距離 50m 間隔で評価地点を設け、評価地点の植生を現地調査で確認した (2011年7月)。同調査区間長は 5.3km で、分布図作成範囲内を通過する登山道 11.0km 中の 48.2% となる。分布図作成範囲内は、山岳域であることから、実際に現地調査が可能となるのは登山道沿線に限定される。今回の検証は、登山道長のおよそ半分の区間で実施したことから、今回の画像分類結果についての一定の評価を得られるものと考えられる。

現地調査での評価地点の設定は、ハンディ GPS (Garmin Inc., GPS60CSx) を用い、植生を確認する範囲は、ハンディ GPS の測位精度を考慮して、半径 3m の円内とした。同様に、画像分類結果についても、評価地点を中心として半径 3m の円内のハイマツ群落の有無を GIS ソフトウェアを用いて確認した。

これら評価地点におけるハイマツ群落の実際の有無と、画像分類結果による有無から判定効率表を作成し、分類結果の分類精度を示す指標として、全体精度 (総評価地点数に対する正しく分類された評価

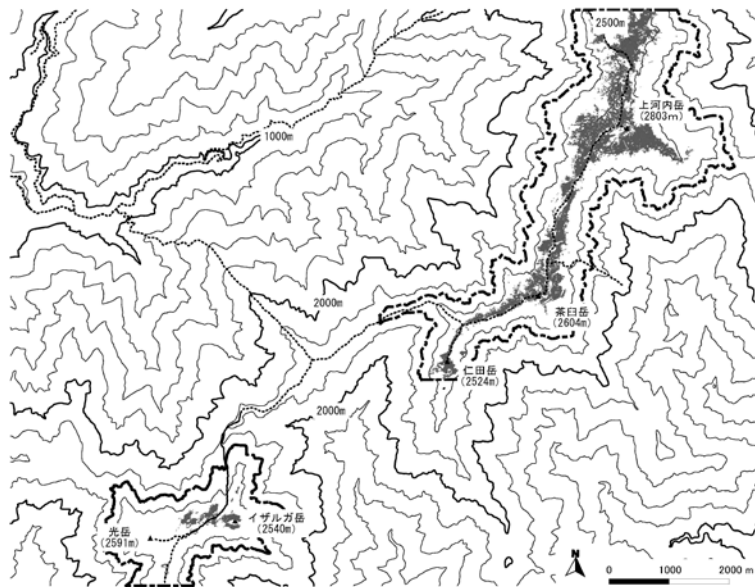


図2 上河内岳～光岳のハイマツ群落分布図(灰色部)。一点破線内が分布図作成範囲(標高2300m以上)。等高線は200m間隔。点線は登山道。

表1 画像分類結果の判定効率表。全体精度は0.849, Kappa係数は0.682。

		検証データ		列総和	User's Accuracy
		ハイマツ群落	ハイマツ群落以外		
画像分類結果	ハイマツ群落	57	9	66	0.864
	ハイマツ群落以外	7	33	40	0.825
	列総和	64	42	106	
Producer's Accuracy		0.891	0.786		

地点数の合計の比)と、リモートセンシングによる画像分類の精度検証の方法として多用される Kappa 係数(無作為な割り当てをどれだけ回避しているかを示す指標¹¹⁾)を求めた。

3. 結果および考察

3.1 ハイマツ群落分布図

図2に、衛星画像の画像分類により得られた対象地域のハイマツ群落分布図を示した。

この分類結果について、評価地点での検証を行った結果、106地点の評価地点中、画像分類により正しくハイマツ群落の分布が得られた地点が57地点、同様に正しくハイマツ群落以外の植物群落に分類された地点が33地点の計90地点で、全体精度として0.849, Kappa係数0.682が得られた(表1)。Kappa係数の解釈について、鎌形ほか(2006)¹²⁾は、Landis and Koch(1977)を引用し、経験的に0.4以下では一致度が低く、0.41~0.80の間ならば中程度の一致、0.80を越える値をとる場合は非常に良好な一致とみなされるとしている。このことから、今回作成したハイマツ群落分布図は、一定程度の精

度をもって作成できたものと考えられる。

誤分類となった評価地点のうち、実際にはハイマツ群落が分布しないにもかかわらず、画像分類でハイマツ群落として分類されたピクセルがみられた9地点では、現地調査で、常緑矮生低木のガンコウランを多く含む草本植生が7地点、ハイマツ群落と同じく常緑針葉樹林であるシラビソ-オオシラビソ林が2地点、ダケカンバ林が1地点で確認された。ガンコウランは、ハイマツ群落の辺縁部に多く生育し、ベルト状にガンコウラン群落を形成する。衛星画像の分解能の制約もあり、今回の画像分類では、こうしたガンコウランを含む群落が、ハイマツ群落に含まれる結果となったことが考えられる。

逆に、現地調査ではハイマツ群落が確認されたが、画像分類ではハイマツ群落として分類されたピクセルがなかった7評価地点のうち、分類に用いた画像や分類結果と評価地点のGIS上での重ね合わせによる検討から、ハイマツ群落の辺縁部にあたるピクセルが、ハイマツ群落ではなく裸地に分類されたために、誤分類となったと考えられる地点が5地点と最も多かった。

3.2 ハイマツ群落の分布

本地域のハイマツ群落は、上河内岳付近から仁田岳にかけての上河内岳～茶臼岳地域と、イザルガ岳～光岳地域に大別される。

この2地域のハイマツ群落の面積は、上河内岳～茶臼岳地域で1.51km²、イザルガ岳～光岳で0.11km²の計1.62km²であった。

ハイマツ群落は標高約2400m以高に主に分布し、イザルガ岳～光岳地域では局所的に、上河内岳～茶臼岳地域のうち、仁田岳～茶臼岳周辺では稜線付近に線状に、より標高の高い上河内岳山頂周辺では山頂付近の斜面に広がりをもって分布していた(図2)。

ハイマツ群落の単位面積あたりのパッチ数は、上河内岳～茶臼岳地域で27.6個/km²、イザルガ岳～光岳地域で11.6個/km²であった。また、ハイマツ群落のパッチサイズは、上河内岳～茶臼岳地域で平均0.7ha、最大142.6ha、イザルガ岳～光岳で平均0.4ha、最大5.3haであった。これらのことから、本地域では、より南方に位置し、また山頂の標高が低いイザルガ岳～光岳では、ハイマツ群落の立地が制限されており、またそのパッチサイズも小さいことが示唆された。

ハイマツ群落の分布南端部にあたるイザルガ岳～光岳地域でのハイマツ群落の分布は、イザルガ岳山頂付近から光岳山頂に向かう稜線にかけてと、光岳より南方の百俣沢の頭へ至る稜線上であった。この光岳から百俣沢の頭に至る稜線上に分布する面積0.8haの群落は、本地域におけるハイマツ群落の分布南端であった(図2)。このイザルガ岳～光岳地域のハイマツ群落分布南端部の分布現況は、既往の調査結果^{2)・13)}と整合していた。

ハイマツ群落の南端部にあたる光岳周辺では、光岳から百俣沢の頭へ至る稜線上のほかに、光岳山頂直下の石灰岩からなる光岩周辺にもハイマツ群落が分布するが、その群落面積が100m²未満と小規模であったことから、今回の分布図には反映されなかった。

なお、既存の縮尺1/50,000植生図^{4)・5)}では、本報の分布図作成範囲内のハイマツ群落の面積は、上河内岳～茶臼岳地域で1.81km²、イザルガ岳～光岳で0.30km²の計2.11km²であった。したがって、既存の植生図に比較して、今回の分布図ではハイマツ群落の分布面積が、全体として2割程度小さくなった。この分布面積の違いは、同植生図ではハイマツ

群落のパッチサイズの下限が大きく、また群落境界の表現が粗なために生じていると考えられる。実際、同植生図では、ハイマツ群落の単位面積当たりのパッチ数は、上河内岳～茶臼岳地域、イザルガ岳～光岳地域の合計で0.7個/km²と少なく、パッチサイズの平均は30.1haと大きかった。

以上により、本報では、高分解能衛星画像の分類により、当地域のハイマツ群落について、既存の植生図に比較して、より小さなハイマツ群落のパッチと細かな群落境界を表現することにより、精度の高い分布現況を得ることができたものと評価する。

3. おわりに

赤石山脈南端部におけるハイマツ群落の分布現況を示す資料として、今回、高分解能衛星画像の画像分類を用いることにより、ハイマツ群落の詳細な分布図を一定の精度で作成した。

このハイマツ群落分布図については、今後、教師データの見直しによりさらに分類精度の向上を図ることが課題として考えられる。その上で、ハイマツ群落分布図をもとにした、ハイマツ群落の立地環境の解析による分布南限におけるハイマツ群落の成立要因の検討や、気候変動による分布適域変動の予測、また、ハイマツ同様に分布南限となっているライチョウの生息適域の推定に活用したい。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、長野県航空隊にはヘリコプターによる上空からのハイマツ群落の確認ならびに写真撮影にご協力をいただいた。ここに記して感謝致します。なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費(S-8)の支援により実施された。

文 献

- 1) IPCC (2007) Climate change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press.
- 2) 近田文弘(1981) 静岡県の植物群落. 第一法規.
- 3) 長野県(2005) 長野県版レッドデータブック～長野県の絶滅のおそれのある野生生物～非維

- 管束植物・植物群落編. 長野県.
- 4) 環境庁(1982)第2回自然環境保全基礎調査(植生調査)現存植生図. 環境庁.
 - 5) 環境庁(1988)第3回自然環境保全基礎調査(植生調査)現存植生図. 環境庁.
 - 6) 徳田桃子・加藤正人(2007)木曾駒ヶ岳におけるデジタル航空写真画像を用いた高山植物の画像解析. 信州大学 AFC 報告 5: 43-50.
 - 7) 徳田桃子・加藤正人(2009)木曾駒ヶ岳におけるデジタル航空写真画像を用いた高山植生の把握 - ハイマツの分布状況把握に有効な画像解析方法の検討. 森林計画学会誌 42: 31-41.
 - 8) Netelr, M. and Mitasova, H. (2007) OPEN SOURCE GIS A GRASS GIS Approach Third Edition, Springer, New York.
 - 9) OSGeo 財団日本支部 (2011) 平成 22 年度宇宙利用促進調整委託費～衛星利用の裾野拡大プログラム～委託事業 FOSS4G を活用した衛星データ利用のためのオープン・リソースの開発「中解像度衛星画像を使用した画像解析チュートリアル」. OSGeo 財団日本支部.
 - 10) GRASS Development Team (2008) Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, Open Source Geospatial Foundation.
 - 11) 加藤正人(編著)(2007)改訂 森林リモートセンシング-基礎から応用まで-. 日本林業調査会.
 - 12) 鎌形哲稔・原慶太郎・森大・赤松幸生・李雲慶・星野延義(2006)高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案. 写真測量とリモートセンシング 45: 43-49.
 - 13) 増沢武弘(編著)(2010)南アルプス 地形と生物. 静岡県.

Distribution map of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) scrub using high resolution satellite image in the southern Akaishi Mountains, Japan

Masaaki OZEKI¹, Masanobu HOTTA¹ and Takashi HAMADA¹

¹ Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan