

UAV 写真測量を利用した中央アルプス固有種 コマウスユキソウ生育状況の把握

尾関 雅章¹・浜田 崇¹

1 はじめに

コマウスユキソウ（ヒメウスユキソウ）*Leontopodium shinanense* Kitam. は、キク科ウスユキソウ属の多年草で、本州中部山岳の中央アルプス固有種である。同種は、分布が限定的で、登山者による踏みつけや採取圧が懸念されることなどから、環境省のレッドリスト¹⁾で準絶滅危惧、長野県版レッドリスト²⁾では絶滅危惧 IA 類にリストされている。長野県では、2004年に本種を希少野生動植物保護条例により特別指定希少野生動植物に指定し、保護回復に努めることとしている。

絶滅危惧種の保全においては、まず野生個体の分布および個体数を確認した上で、その種の生活史、生活史を通じた集団構造の変動、実生個体の定着環境などを明らかにすることが必要である。本種の個体群構造については報告されているが³⁾、その分布および個体数については、生育範囲が木曾山脈の広域にわたるため、概略的な把握にとどまっている。

野生植物の分布調査は、従来、人の踏査により行われてきたが、近年、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle（ドローン）、以下 UAV）の高機能化および多視点の画像から撮影対象の3次元構造を復元する SfM-MVS（Structure from Motion / Multi-view Stereo）等の画像解析技術の進展により精度の高い3次元写真測量が急速に発展し、こうした生態学的調査にも活用されるようになってきた⁴⁾。さらに、これまでの人工衛星や航空機リモートセンシングでは適時的で高解像度の観測が困難であった山岳地においても、可搬性に優れた UAV を利用した高山植物の分布や高山植生の観測が期待されるようになってきた。

ただし、現在、写真測量用途に用いられる市販の汎用 UAV では、本体重量が約 1~2kg 程度あるものが多く、予備バッテリー、保護ケースを含めると山

岳地に携行する場合には、依然、一定のコストを要する状況にある。そこで、本研究では UAV を活用したより低コスト（作業負担、費用）な高山植物および高山植生モニタリング手法の検討の一環として、UAV の中でも特に携行の容易な小型軽量 UAV を利用したコマウスユキソウの生育状況の把握を試みた。

2 方法

2.1 調査区の設定

調査地は、コマウスユキソウ生育地のうち、木曾駒ヶ岳（標高 2,956m）付近の植被階状土が形成される本種の典型的な生育地とし、階状土と直交するように 1m×25m の帯状調査区を設定した。

同調査地の平均気温（1996年6月~2005年6月）は -1.39°C、最寒月（1月）の月平均気温は -14.0°C、最暖月（8月）の月平均気温は 10.6°C であった³⁾。植被階状土は、こうした高山の寒冷地に冬季の土壌の凍結・融解作用によって生じる構造土の一種で、階段状の地形を示し、その段差部分に植被が発達するのに対し、平坦部分には裸地が卓越する。本調査区内では、段差部分の植生は、ウラシマツツジ *Arctous alpinus* (L.) Nied. var. *japonicus* (Nakai) Ohwi, ヒメクロマメノキ *Vaccinium uliginosum* var. *alpinum* Bigelow, ガンコウラン *Empetrum nigrum* var. *japonicum* K. Koch などの矮生低木とヒナガリヤス *Calamagrostis nana* Takeda, ヌイオスゲ *Carex vanheurckii* Müll.Arg., オヤマノエンドウ *Oxytropis japonica* Maxim. var. *japonica*, コマウスユキソウなどの草本からなる高さ 5cm~15cm 程度の風衝矮生低木群落および風衝草原となっていた。また、調査区の一部にはハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel 低木林も分布した。

2.2 空中写真撮影および3次元モデル化

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

撮影機材は、Mavic Mini (DJI 社) とその標準搭載カメラを用いた。Mavic Mini は、外形寸法 245×289×55mm (縦×横×厚さ)、折り畳んだ状態では 140×81×57mm (同)、重さ 199g と小型軽量で可搬性・機動性に優れること、また、直下視可能な 1/2.3 インチ、1,200 万画素の CMOS カメラ (視野角 83°) を搭載し、オルソモザイク画像作成に適した画像の撮影が可能なることから本調査では採用した。撮影は、UAV 操作ソフト (DJI 社 DJI Fly) を用いて 2020 年 9 月 29 日に行った。同ソフトで UAV を手動操作し、地上高約 5m、撮影される写真のサイドラップが 50% 以上となるよう調査区上空で近接するルートを飛行させ、飛行方向に沿った写真間のオーバーラップが発生するよう、飛行速度を低速の時速約 3km/h とし、同ソフトのインターバル撮影機能を用いて 2 秒間隔で撮影した。撮影時のカメラ設定は、ISO 感度を 100、露出を -1.0EV、シャッタースピードはオートとした。地上基準点は調査区周辺の 10 地点に設置し、全球測位衛星システムの GNSS (Global Navigation Satellite System, BizStation 社 DG-PRO1RWS) と、周辺の電子基準点の観測データからその補正情報を得るネットワーク型リアルタイム・キネマティック測量により位置座標を求めた。

取得された画像は、SfM-MVS ソフトウェア (Agisoft 社 MetaShape) により画像の配列、3 次元モデルの構築を行い、数値表層モデル (Digital Surface Model, 以下 DSM) を解像度 1cm で、オルソモザイク画像 (解像度 1mm, 以下オルソ画像) を作成した。

2.3 コマウスユキソウの生育位置および生育環境の把握

調査区内のコマウスユキソウについては、その生育位置を作成したオルソ画像の目視判読と現地調査 (2020 年 10 月 28 日) により確認し、オルソ画像上でのデジタル化により分布図を作成した。なお、コマウスユキソウは、地下茎から複数のロゼットを発生させるが、ここでは、同一の地下茎から生じたと考えられるロゼットの集合 (株) を個体として扱った。

このコマウスユキソウの生育環境情報として、調査区の土地被覆分類を行った。土地被覆分類は、オルソ画像の RGB 値と RGB 値から算出される植生指標 GEI⁵⁾、および植生高を用いて、リモートセンシ

ング画像解析ライブラリの Orfeo ToolBox (CNES) で機械学習 (ランダムフォレスト) によるオブジェクトベース分類により行った。植生高の算出に先立ち、DSM からハイマツ林等を除いた地表点で標高値を取得して、地盤高を示す数値標高モデル (Digital Elevation Model, 以下 DEM) を作成し、DEM と DSM の差分を植生高とした。土地被覆分類の分類項目は、ハイマツ林、ハイマツ幹・枝、常緑矮生低木群落、落葉矮生低木群落、草本群落、岩・砂礫地の 6 項目とした。ハイマツ幹・枝については、ハイマツ群落中の葉に覆われていない部分で、画像の色調が大きく異なることから、ハイマツ林と分けて分類した。なお、調査区では、常緑矮生低木のガンコウランが広く分布するが、今回の土地被覆分類では、ガンコウランが密生した植分を主に常緑矮生低木群落とし、ヒメクロマメノキ等とガンコウランが混生する植分は、落葉矮生低木群落とした。画像分類の精度評価のため任意に 100 個の検証用ポリゴンを設け、画像分類の精度評価指標として用いられる kappa 係数 (kappa 係数=1 の場合に分類結果と参照データが完全に一致することを示す) ⁶⁾ を算出した。

3 結果と考察

UAV による空中写真撮影の所要時間は、離陸から着陸までの時間、バッテリー交換 (1 回) 等の時間を含めて約 30 分であった。撮影した画像のうち、撮影方向が大きく傾いているものなどを除いた 314 枚の画像を用いて、SfM-MVS 処理により、調査区周辺のオルソ画像が得られた (図 1)。オルソ画像には調査区にかかる画像欠落は生じなかった。

今回の調査区は、南東向きの斜面に設置しており、オルソ画像とともに作成された DSM、DEM から調査区の両端の標高差を求めると 5.5m で、調査区全体にならした傾斜は 22° であった。

オルソ画像から、常緑針葉低木のハイマツ林が調査区の両端に分布し、その間に裸地状の砂礫地と常緑矮生低木や紅葉・黄葉期の落葉矮生低木、草本植物群落などからなる植被部分が交互に配置し、植被階状土特有の縞状の植生景観を示していることが確認された。この植生配分は、現地調査で確認した調査区周辺の植生分布と同様であった。また、調査区の植被階状土で、裸地状となる平坦部の幅は

0.7~1.1m, 植被が発達する段差部分の高さは DEM から 12~40cm で, 本調査地域周辺の植被階状土の構造に関する既往の報告⁷⁾と整合していた. ハイマツ林の植生高は, DSM と DEM の差分から, 約 30cm 程度を示し, 高山帯風衝地のハイマツ林の植生高を逸脱するものではなかった. これらの結果から, 今回作成されたオルソ画像および DSM, DEM が, 調査区周辺の植生配分, 地形を反映したものとなっていると考えられる.

調査区内に生育するコマウスユキソウは, オルソ画像の判読と現地調査により 225 個体が確認された (図 1). なお, 今回得られたオルソ画像でコマウスユキソウ個体部分を拡大すると, ブレ等により不鮮明な箇所が認められ, オルソモザイク画像の目視判読のみでは全個体の確認が困難であった. このブレは, 小型軽量 UAV のため風の影響を受けやすく, 撮影時に機体の姿勢が不安定となり生じた可能性が考えられる.

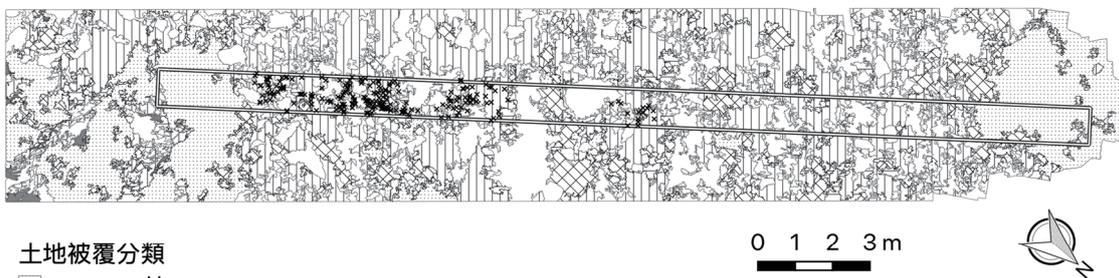
コマウスユキソウは, 調査区のうち斜面下部側で多く確認され, 斜面上部では確認されなかった. オルソ画像との重ね合わせから, コマウスユキソウの分布する範囲では, 本種が植被階状土の段差の植被部分に集中する傾向がみられた.

オルソ画像からの土地被覆分類 (図 2) の精度評価指標 kappa 係数は, 0.66 であった. kappa 係数の解釈について, 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されている⁸⁾. このことから, 今回作成した土地被覆分類図は, 一定の精度をもって作成できたものと考えられる. この分類図から, 調査区内の土地被覆分類項目の面積比を算出すると, 35%が落葉矮性低木群落, 32%が岩・砂礫地, 21%がハイマツ林, 8%が常緑矮性低木群落, 5%が草本群落であった.

コマウスユキソウの生育地点の土地被覆分類項目を確認すると, 225 地点中 168 地点 (75%) が落葉



図 1 調査区周辺の UAV オルソ画像 (撮影:2020 年 9 月 29 日). 白線は带状調査区 (1m×25m), 白クロスマークはコマウスユキソウの生育位置を示す. 図右側が斜面上部, 図左側が斜面下部に相当する.



土地被覆分類

- ハイマツ林
- ハイマツ幹・枝
- ▨ 常緑矮性低木群落
- ▧ 落葉矮性低木群落
- ▩ 草本群落
- 岩・砂礫地

図 2 調査区周辺の土地被覆分類図. 二重黒枠は带状調査区, 黒クロスマークはコマウスユキソウの生育位置を示す.

矮生低木群落, 39 地点 (17%) が岩・砂礫地, 8 地点 (4%) が草本群落, 6 地点 (3%) が常緑矮生低木群落, 4 地点 (2%) がハイマツ林に位置しており, 本種が植被階状土の段差の植被部分の中でも, ヒメクロマメノキなどからなる落葉矮生低木群落内に特に集中し, 裸地状の岩・砂礫地やガンコウランの優占する常緑矮生低木群落内, ハイマツ林内には少ないことが示された. 今回の調査地周辺のコマウスユキソウ生育地の植生は, ヒメクロマメノキとガンコウラン等が混生した植分とされており³⁾, 今回の結果は, その報告と整合するものであった. 植被構造土の平坦面にみられる砂礫地は, 融雪期の土壤凍結融解作用による表層砂礫の移動・攪拌が激しいことから, コマウスユキソウの新規定着が困難なこと, また, ガンコウランの優占する常緑矮生低木群落内やハイマツ林下では, 凍結融解による土壤移動は少ないものの常緑木本に強く被陰されることからコマウスユキソウの成長に不適なことが考えられる.

なお, 今回得られたオルソ画像, DSM, DEM からは, 調査区のうち斜面上部側にコマウスユキソウが乏しい要因については明らかにはできなかった. 調査地周辺の踏査では, 調査区より斜面上部にもコマウスユキソウが生育することを確認していることから, この点については, より広範囲の地形や植生環境とコマウスユキソウ生育地点の対応関係, また, ハイマツ林縁からの距離に応じた微気象, 消雪時期の違いなどを考慮し検討する必要があるものと考えられる.

4 おわりに

今回の試行では, 限定的な範囲ではあるが, 小型軽量 UAV による高解像度の空中写真撮影から, オルソモザイク画像の作成, さらにそのオルソモザイク画像を用いた土地被覆分類, またコマウスユキソウ生育地点の植生環境等が得られた. このことから, 小型軽量 UAV による空中写真撮影は, 調査コストが大きく, また調査時の踏圧による植生攪乱を軽減すべき高山帯での自然環境モニタリングにおいて有用な手法の一つとなると考えられる.

一方で, UAV を用いた観測には, UAV の飛行そのものが気象条件の制約を大きく受けること, 小型軽量 UAV の場合には, より風の影響を強く受けやすく撮影画像にブレが生じやすいこと, またバッテ

リ容量が少なく飛行時間が短いことが課題として考えられる. 撮影画像のブレは, 画像からの植物個体の検出力に影響するため, 今後, 適正な撮影高度や撮影条件を精査し, より高精細な画像を安定して取得するための条件開発をすすめたい.

さらに UAV による写真測量技術と同様に近年発展の著しい AI による画像認識技術を UAV 空撮画像の解析に活用することにより, 画像からの調査対象植物の自動検出等, 山岳地など人による直接的な現地調査が困難な場所での自然環境調査の一層の自動化の進展も期待される.

謝 辞

本調査の実施にあたり, UAV 飛行について中部森林管理局南信森林管理署にご理解をいただいた. ここに記して感謝いたします. 本研究は, 長野県環境保全研究所経常研究「高山生態系モニタリングに関する調査研究(令和元~3年度)」により実施された.

文 献

- 1) 環境省 (2020) 環境省レッドリスト 2020, URL:<https://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>(2021年12月確認)
- 2) 長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部 (2014) 長野県版レッドリスト-長野県の絶滅のおそれのある野生動植物-植物編 2014, 長野県
- 3) 尾関雅章・大塚孝一 (2008) 長野県固有種コマウスユキソウの個体群構造. 長野県環境保全研究所研究報告, 4: 55-59
- 4) 小熊宏之・井出玲子・井鷲裕司 (2016) UAV 観測画像を用いた絶滅危惧植物の花の自動検出手法. 日本リモートセンシング学会誌, 36: 72-80
- 5) 尾崎敬二 (2018) 小型無人航空機搭載デジタルカメラによる単一空撮可視光画像から推定する植生指標. 日本画像学会誌, 57: 302-307
- 6) 佐藤超・村上智明・中嶋康博 (2019) 教師付き分類とオブジェクトベースのセグメンテーションを組み合わせた土地利用/土地被覆分類手法の提案—牧草地における農用地及び更新草地の判別—. 日本リモートセンシング学会誌, 39: 225-240

- 7) 小泉武栄 (1974) 木曾駒ヶ岳高山帯の自然景観-
とくに, 植生と構造土について. 日本生態学会誌,
24: 278-91
- 8) 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

**Observation of the habitat and distribution of *Leontopodium shinanense* Kitam.,
an endemic plant species in the Central Japanese Alps,
using UAV photogrammetry**

Masaaki OZEKI¹ and Takashi HAMADA¹

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