

# VR カメラで撮影した 360 度カラー画像による 林床被覆率の計測アプリケーションの開発

山根正伸\*・雨宮 有\*\*

## Development of an application for measuring forest floor coverage using 360-degree VR camera images

Masanobu YAMANE\*, Tamotsu AMEMIYA\*\*

### 1 はじめに

森林における林床の被覆状態の指標として、地上 0cm から 50cm の範囲の植生による林床の被覆率(以下、林床植生被覆率)や礫及び土壌の露出率(以下、土壌露出率)、林床植生被覆率と堆積リター(落葉及び落枝)の被覆率(以下、リター堆積率)を合計した林床被覆率(三浦 2000)がある。これらの林床の被覆状態を示す各種指標の計測に関しては、一定の方形枠を用いて目視で判定・計測する方法(三浦 2000)に加え、最近では一般的なデジタルカメラで撮影した平面に投影したカラー静止画像(以下、平面投影カラー画像)が持つ色情報を用いて専用の画像編集ソフトにより半自動計測する方法(初ほか 2010)がある。

近年、森林環境を記録する比較的安価な機材として 360 度カメラ(全方位カメラ)が普及している。この 360 度カメラは撮影地点の全方位のカラー静止画像(以下、360 度カラー画像)を一度の撮影で取得でき、一般的なデジタルカメラで撮影した平面投影カラー画像より撮影地点周辺の多様な環境情報を一枚の画像から取得・計測することができる。得られた 360 度カラー画像には上述した撮影地点付近の林床植生やリターの被覆状態を含んだ画像が撮影されており、適切な画像変換処理を行って平面投影カ

ラー画像を作成することで、林床の被覆状態を既存の手法と同様に評価できると考えられる。また、GPS 記録機能を搭載した器材を使用することで、撮影条件、撮影時間などに加えて撮影位置の緯度経度の座標情報を含めた撮影画像情報(exif 情報: Exchangeable image file format)が得られ、林床の被覆状態の評価結果を地図情報化することも容易となる。

そこで、本報告では VR カメラで撮影した 360 度カラー画像を林床の被覆状態のモニタリングに活用するという観点で、座標情報を含めた exif 情報を取得しつつ、得られた 360 度カラー画像から撮影地点付近の林床植生被覆率、土壌露出率、リター堆積率および林床被覆率を特定の画像編集ソフトを使用せずに自動計測する方法を検討した。具体的には、平面投影カラー画像の画像解析において、初ほか(2010)が実施した色情報に基づく手法を一部替えた簡便な手法により林床の被覆状態の指標を算出する方法を検討するとともに、この方法を 360 度カラー画像から行う拡張方法を検討した。あわせて、森林環境のモニタリングのために多地点で取得した 360 度カラー画像を一括して連続的にほぼ自動で林床被覆状態の指標値を計測できるようにするため、プログラム言語の一種の Python(The Python Software Foundation, 2022)の画像計測モジュー

\* 神奈川県自然環境保全センター研究連携課

\*\*GIS インスティテュート

ルを活用して、グラフィカル・ユーザーインターフェース (GUI: Graphical User Interface) 機能を持つアプリケーション (以下、アプリ) を作成したのでその概要について報告する。なお、本研究における基本的な処理方法の検討及び計測処理のプロトタイププログラムの作成は山根が、配布用計測アプリの作成は雨宮が行った。

## 2 材料と方法

### (1) 画像の取得

色情報に基づく簡便な画像解析手法を検討するため、2020年8月2日に、丹沢山地の堂平地区内 (35度28分54秒, 139度10分38秒) の植生回復状態に幅がある30地点で、一般的なデジタルカメラを用いて地上高約2mから真下向きに1枚ずつ、30地点のうち10地点では異なる撮影条件でもう1枚ずつ、合計で40枚の平面投影カラー画像を撮影した。この40枚の平面投影カラー画像は、あらかじめ、初ほか (2010) の計測方法に沿って画像編集ソフト (Photoshop, Adobe社) を用いて林床植生被覆率、リター堆積率を計測し、林床被覆率を算出した。なお、これらの撮影地点では低木層がほとんど発達せず、林床の植生高は最大でも50cm程度であった。

さらに、VRカメラで撮影した360度カラー画像からの計測への拡張方法を検討するため2020年8月19日に、同じく堂平地区の林床の被覆状態が異なる50地点で、緯度経度座標情報をあわせて取得できるVRカメラのGoProMAX (GoPro社製) を用いて、地上高2mから1枚ずつ合計50枚の360度カラー画像を撮影した。これらの撮影地点では、林床植生被覆率と目視調査結果との関係を検討するため、画像の撮影時に目視により植被率を5%刻みで計測し、記録した。

### (2) 平面投影カラー画像の画像解析

平面投影カラー画像の画像解析により、林床植生被覆率 (a%) と土壌露出率 (b%) を計測した。リター堆積率 (c%) は100%から両値を差し引いて求めた ( $c\% = 100\% - a\% - b\%$ )。林床被覆率 (d%) は100%から土壌露出率 (b%) を差し引くか、林床植生被覆率 (a%) とリター堆積率 (c%) を足し合わせて求めた ( $d\% = 100\% - b\% = a\% + c\%$ )。

林床植生被覆率と土壌露出率は堂平地区で撮影し

た40枚の平面投影カラー画像を以下の手順で解析した。まず、平面投影カラー画像が持つ赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) の3つの色の強さに関するRGB色空間で示された情報を、色相 (H:Hue)、彩度 (S:Saturation)、明度 (V:Value) のHSV色空間の情報に変換した。これはRGB色空間において緑色を検出するにはR、B、Gの3パラメーター値の調整が必要で複雑になるのに対して、HSV色空間では色の種類はHという1つの値で決まり、青みのかかった緑や黄色みのかかった緑などもH値のみで検出できるというメリットがあるためである (農業情報科学 2019)。そこで、林床植生被覆を幅のある緑色を呈している画素と捉え、色相を示すH値のみに着目して緑被 (緑色の画素) とその他の被覆 (その他の色の画素) に二値化し、緑被の占める割合を林床植生被覆率として計測することとした。なお、緑被の二値化では手順等 (同上Webサイト) を参考にしたPython言語のOpneCVモジュール (OpenCV 2022) を用いた画像処理プログラムを作成した。一般に緑色はHSV色空間でH値がとる0から360のうち  $50 \leq H \leq 150$  の範囲をとるとされる。このH値の範囲は撮影条件等により変動すると考えられるので、本研究では40枚の平面投影カラー画像から数枚の画像を選んで植生被覆をよく反映するH値の範囲を探るため、H値の上下限値を10ずつ段階的に変化させて二値化し、実際の植生被覆と緑色とみなした画素とが概ね一致するH値の範囲を決定した。

土壌露出率については、礫は概ね黒色を呈し、HSV空間で明度を示すV値 (0~255) は0に近い値をとること、我が国の主な森林土壌の表土が黒色からやや明るい茶色を呈し、これらの色のV値は0から80以下の濃い暗色の範囲にあること (カラーサイト.com, <https://www.color-site.com/names/402>) を念頭に、土壌露出部分のV値の範囲を決めることとした。すなわち、画素を土壌露出部とみなすV値は、撮影地点の土壌型や撮影条件などで変動することも考慮し、典型的な土壌露出部分がある画像を用いてV値の上限値を100から10刻みで段階的に減らし、それぞれ二値化した画像を作成し、目視によって区別できる土壌露出部分と概ね一致するV値の範囲を決定した。なお、本研究で用いたV値の上限値は撮影地点一帯の土壌露出部分の抽出に限定して使用できるものであり、土壌型などが異なる場所では表層土壌の土色に応じたV値上限値の検討が必要と

考えられるので、後述する計測支援用のアプリケーションでは上限値に調整機能を持たせるかたちで作成している。

以上で述べた平面投影カラー画像の解析により計測・算出した林床植生被覆率と林床被覆率について、初ほか(2010)が用いたPhotoshopを使用した色調の自動一致機能で抽出した計測値とどの程度一致しているかを比較検討した。

### (3) 360度カラー画像の画像解析

360度カラー画像から林床被覆率を計測・算出する処理の流れは次のとおりとした。まず、撮影画像の撮影情報を取得するため、360度カラー画像に付加された撮影日時及び撮影位置などが記録してあるexif情報を読み出す処理(処理1)を行った。その後、撮影地点の足元の平面投影カラー画像への画像座標変換と切り出し処理(処理2)を行い、その平面投影カラー画像を二値化したうえで林床植生被覆率、土壌露出率を計測し、その計測結果を出力(処理3)した(図1)。本研究ではそれぞれの処理を行うための個別プログラムをPython言語の画像処理モジュールを活用して自作した。

次に、360度カラー画像が正距円筒法(Equirectangular)により画像の上下端に近づくほど左右方向が拡大される画像であることを踏まえ、

360度カラー画像から撮影地点における東西南北方向の足元付近の画像の平面投影カラー画像に座標変換して切り出しする画像処理方法を検討した。360度カラー画像から平面投影カラー画像へと座標を変換する処理には、Pythonプログラムの画像変換モジュールとして公表されている「py360convert」(<https://github.com/sunset1995/py360convert>)を使用した。このモジュールは、画像の座標変換方式、入出力ファイル、出力画像のサイズ、平面画像の場合は切り出し位置などの変換処理条件のパラメーター値を指定することで任意の座標変換処理が可能である(図2)。このモジュールを実行するには、以下に示すようにモジュール名(py360convert)の引数に変換方式パラメーターの指定(convert e2p)、入力と出力の画像ファイル名の指定(png形式、例では 入力ファイル: example\_input.png、出力ファイル: example\_e2p.png)、切り出す画像のピクセルサイズの指定(w、h、例では横サイズ: 300、縦サイズ: 300)、平面切り出しするカメラ方向及び足元のカメラ撮影角度のパラメーター値(u\_degとv\_deg、例では u\_deg: 120とv\_deg: 23)の指定がそれぞれ必要となる。

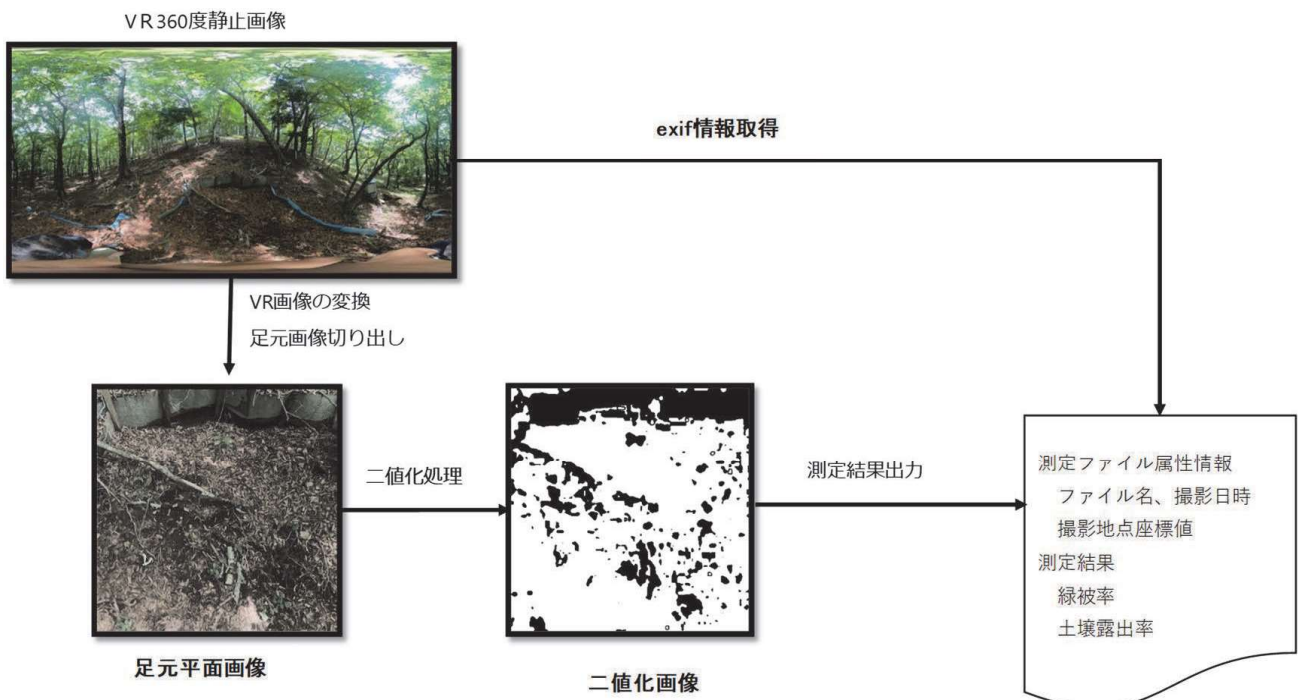


図1 360度カラー画像から林床被覆率を測定する処理の流れ  
注: 二値化画像では黒が緑被部分を示す

```
py360convert --convert e2p --i assert/
example_input.png
--o assert/example_e2p.png --w 300 --h 300
--u_deg 120 --v_deg 23 (式 1)
```

何枚かのテスト画像を使用して、パラメーター値を一定数値刻みで段階的に変更して出力した画像を確認しながら、360 度カラー画像から撮影地点の足元東西方向の平面投影カラー画像を座標変換して切り出しするのに適当なカメラ方向及び足元のカメラ撮影角度のパラメーター値を決定した。切り出した足元付近の平面投影カラー画像の一部には撮影者の頭や腕などが部分的に映り込むため、切り出し画像を二値化する範囲を、切り出し画像の上下左右 20% トリミング処理した範囲とし、このことを前提として画像を切り出すのに適切なピクセルサイズについても検討した。

続いて、50 地点で撮影した 360 度カラー画像から足元の平面投影カラー画像を切り出し、RGB 色空間から HSV 色空間に変換したうえで二値化し、上述の方法で林床植生被覆率を計測し、現地において目視で計測した植被率と比較した。

#### (4) 配布用アプリケーションの開発

以上に述べた 360 度カラー画像からの足元の平面投影カラー画像への変換と切り出し、切り出した画像の HSV 色空間での二値化処理による林床植生被覆

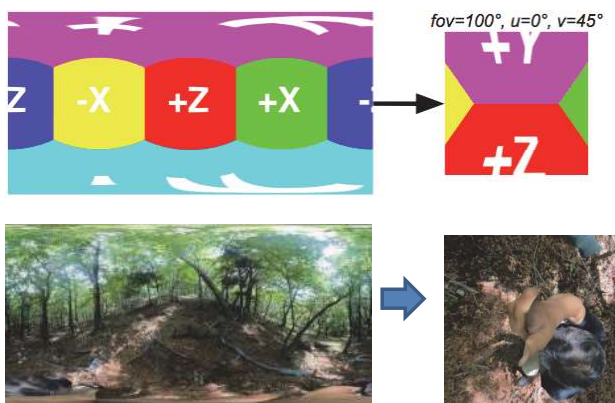


図 2 360 度カラー画像から撮影地点の足元の平面投影カラー画像の変換・切り出し原理 (上) と堂平地区 360 度カラー画像の足元平面投影カラー画像への変換・切り出し例 (下)

注 1: 左下画像が 360 度カラー画像、右下画像が足元直下を切り出した平面投影カラー画像。

注 2: 上右画像の fov: 平面切り出しするカメラ方向、u と v が足元位置のパラメーター値を示す

率、土壌露出率の計測及び林床被覆率の算出に関する検討結果を踏まえて、多数の画像を一括して連続的に一連の処理をほぼ自動で行うことのできるアプリを開発した。このアプリは、Windows 10 (Net Framework 4.8) および Anaconda3 (Python 3.8.8 以降) と Python 言語の画像処理モジュールプログラムのひとつである「OpenCV」(OpenCV 2022) のもとで動作するかたちで作成し、簡単な操作説明を併せて提供することとした。

### 3 検討結果

#### (1) HSV 色空間での画像解析に適した H 値および V 値の範囲

林床植生被覆率の計測において、HSV 色空間で H 値を二値化して緑被の実態を反映できる範囲は  $75 \leq H \leq 125$  であった。ただし、図 3 に示すように平面投影カラー画像に落枝に付着する緑色を呈する蘚苔類が含まれる場合には、それらが緑被として判定され林床植生被覆率が過大となった。このような誤差は、林床植生が少ない場合に生じやすいと考えられる。また、緑色を呈する人工物があってもそれらが緑被として判定されたため、そのような画像は計測対象から除外する必要があると考えられた。

土壌露出率の計測において、HSV 色空間で V 値を二値化して土壌露出の実態を反映できる範囲は  $0 \leq V \leq 80$  であった (図 4)。なお、土壌露出部分についても、土や礫に似た色を呈する物体がある場合は誤判定が生じるので注意が必要である。また、落葉や落枝は灰色や茶色を呈しており V 値のみでは誤抽



図 3 丹沢山地の堂平地区で撮影した 360 度カラー画像から撮影地点の足元の平面投影カラー画像を切り出した後に緑被部分を二値化処理した結果の例

注 1: 左が 360 度カラー画像から切り出した足元の平面投影カラー画像。

注 2: 右が左画像の HSV 色空間値の H 値が 75 から 125 の範囲にある画素を緑被として抽出して二値化した画像。



図 4 丹沢山地の堂平地区で撮影した 360 度カラー画像から撮影地点の足元の平面投影カラー画像を切り出した後に土壌露出部分を二値化処理した結果の例

注 1：左が 360 度カラー画像から切り出した平面投影カラー画像

注 2：右が土壌露出部分として左画像の HSV 色空間の V 値を 0 から 80 の範囲の画素を抽出して二値化した画像。

出ることがあったので、H 値や S 値も併用する方法等について今後検討が必要と思われた。

## (2) 異なる画像解析手法による林床植生被覆率および林床被覆率の比較

続いて、これらの H 値及び V 値の範囲値を用いて 40 枚の平面投影カラー画像について林床植生被覆率と林床被覆率を求め、画像編集ソフト (Photoshop) を用いた初ほか (2010) の方法に準じた計測値と比較した。今回用いた方法の計測値がやや過大に判定されているが、両値には有意な強い相関 (林床植生被覆率:  $r^2=0.83$ ,  $p < 0.001$ 、林床被覆率:  $r^2=0.80$ ,  $p < 0.001$ ) が認められ、おおむね一致することが確認できた (図 5)。ただし、今回

用いた方法での計測値はやや過大であるため、その原因解明も含め一致精度の向上を図る方法についての検討が必要と考える。

## (3) 360 度カラー画像から平面投影カラー画像への切り出し処理に適したパラメーター

360 度カラー画像から平面投影カラー画像の座標変換・切り出し処理では、式 1 における  $u\_deg$  と  $v\_deg$  のパラメーター値を (360, -55)、(270, -55)、(180, -55) および (90, -55) とすることで、それぞれ足元付近の東西南北 4 方向、およそ 1 m 方形の範囲を含む平面投影カラー画像を切り出せることが確認できた (図 3, 4)。また、画像サイズのパラメーター値は元の画像の画素数によっても異なるが、500 から 1000 程度が座標変換・切り出しおよびその後の二値化計測のパソコンでの処理速度などの観点で適当と考えられたので、幅 500、高さ 500 の正方形サイズのパラメーター値とすることとした。

## (4) 画像解析により計測した林床植生被覆率と目視による植生率の比較

続いて、以上の検討結果を用いて、50 地点の堂平 360 度カラー画像をもとに計測した林床植生被覆率と目視による植生率とを比較した。その結果、林床植生被覆率は目視による植生率と有意な相関が認められた ( $r^2=0.72$ ,  $p < 0.001$ ) が、直線関係ではなく上に突きの曲線関係であり、画像計測で得た林床植生被覆率のほうが過少となる傾向があった (図

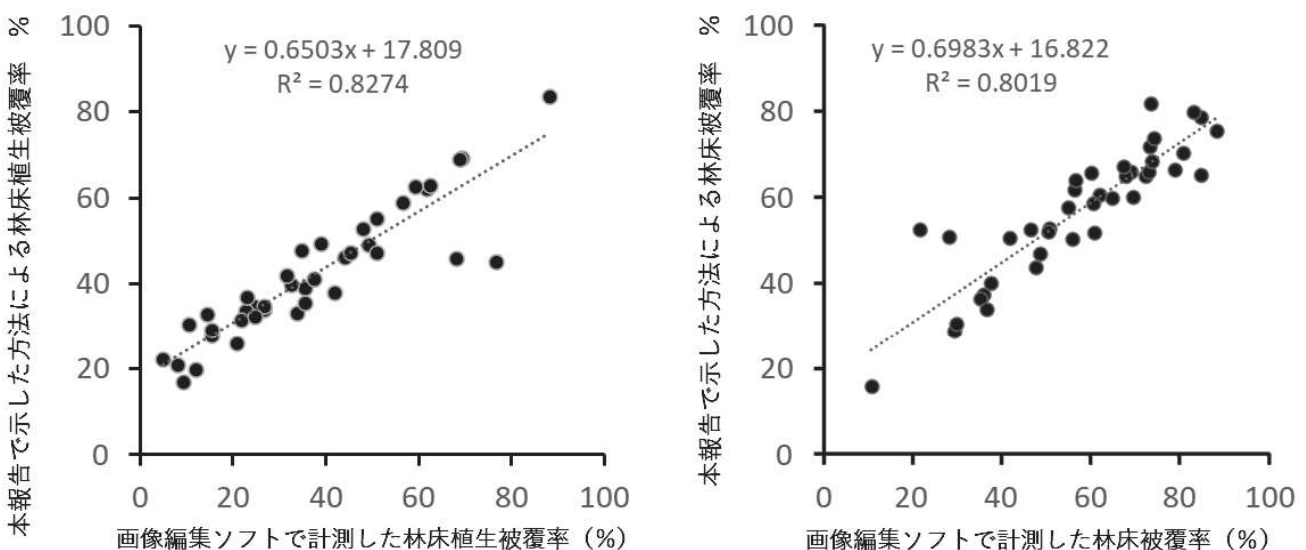


図 5 堂平地区で撮影した 40 枚の平面投影カラー画像の林床植生被覆率 (左) と林床被覆率 (右) に関する初ほか (2010) に沿って画像編集ソフトで計測した値と本研究で検討した方法で計測した値の比較

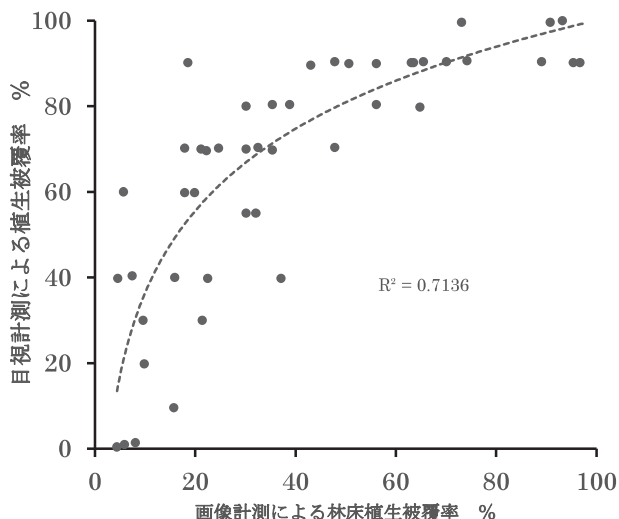


図6 丹沢山地の堂平地区50地点において目視で計測した林床植生被覆率(%)と各地点で撮影した360度カラー画像から画像座標変換・切り出した撮影地点の足元の平面投影カラー画像を用いて本研究で検討した方法で計測した林床植生被覆率(%)の比較

6)。この理由としては、目視での植生判定が5%刻みで判定しており植被率が30%前後から80%前後の範囲では不正確となりやや過大計測であった可能性が考えられる。このため、今後、計測事例を増やすなどして、その原因を明らかにして一致精度を高めていく必要がある。

## 4 開発した計測アプリケーションの概要

### (1) 特徴

以上に示した一連の処理を多数の画像に対して一括で連続的にほぼ自動で行える操作も容易なユーザーインターフェース機能を持ったアプリを作成した。作成したアプリの特徴は4点ある。

まず、本報告で検討した360度カラー画像のexifの情報取得、足元付近の平面投影カラー画像の切り出し、画像二値化による林床植生被覆率と土壌露出率の計測および林床被覆率の算出を連続的に処理できるようにした点である。

二点目は、この種の計測は通常多点で撮影した画像を計測することが多いことを念頭に置き、指定したフォルダ内にある多数の画像を連続してほぼ自動で一括処理できるようにした点である。従来の画像編集ソフト(Photoshop)を用いた解析では1枚1枚の解析に時間がかかるため多数の画像計測には多くの時間と労力を費やす必要があるが、一括連続自

働処理できるようにしたことでより多地点での計測を短時間かつ省力化することが可能になる。

三点目は、使いやすい操作環境を提供するためGUIを採用した点である。

四点目は、360度カラー画像が様々な撮影条件下で取得されることを考慮して、足元の平面投影カラー画像の切り出し角度を調整できるような機能を持たせるとともに、緑被や土壌露出を判定するための「HSV値の調整」機能を付加した点である。この足元の平面投影カラー画像の切り出し角度調整機能では、初期値からカメラの下向き角度を変化させて切り出した場合の画像を確認できるようにした。また、林床植生被覆率の計測ではH値の値を、土壌露出率計測ではVの各値の値を試行錯誤的に変化させて、植生と土壌の部分を最もよく抽出できる値の範囲を調整できるような操作画面が表示され、確定した値が計測に反映される。

### (2) 環境設定及び動作・実行方法

まず、Windows10環境のPCに、アプリに含まれるPythonスクリプトが実行できる環境設定を行う。その際、プログラムの実行に必要なPythonプログラムモジュール「OpenCV」及び「py360convert」は事前に所定のフォルダにインストールしておく。環境設定後、実行形式プログラムを任意の場所にコピーして、プログラムのアイコンをダブルクリックしてフォームを起動させる(図7)。アプリ起動後にフォームが表示されたら、「画像」ボタンをクリックし計測する360度カラー画像の入ったフォルダに移動後、画像ファイルを選択して「開く」をクリックすると、選択した画像が読み込まれ、テキストボツ

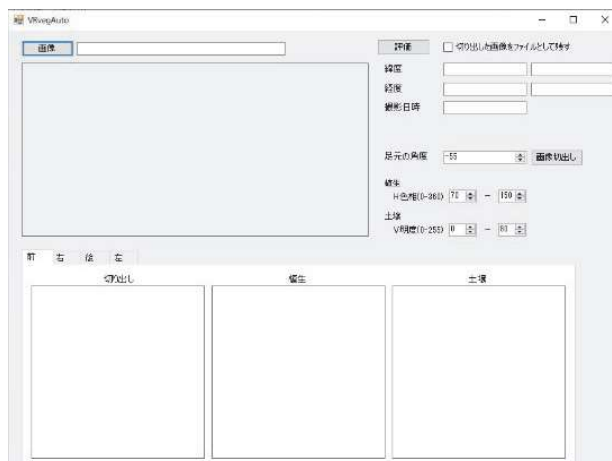


図7 アプリケーション起動後の初期画面



図8 360度カラー画像を読み込んだ時点のアプリケーション上部に表示される画面例

注：この例では2020年9月8日10時47分43秒に撮影した、「堂平ネズミトラップVR」フォルダ直下にあるVR360度カラー画像（緯度35度28分51.70秒、経度139度10分18.97秒）を使用して、足元角度-55度、植生緑被H色相範囲70-150、土壌判定明度0-80度での計測を指定している。

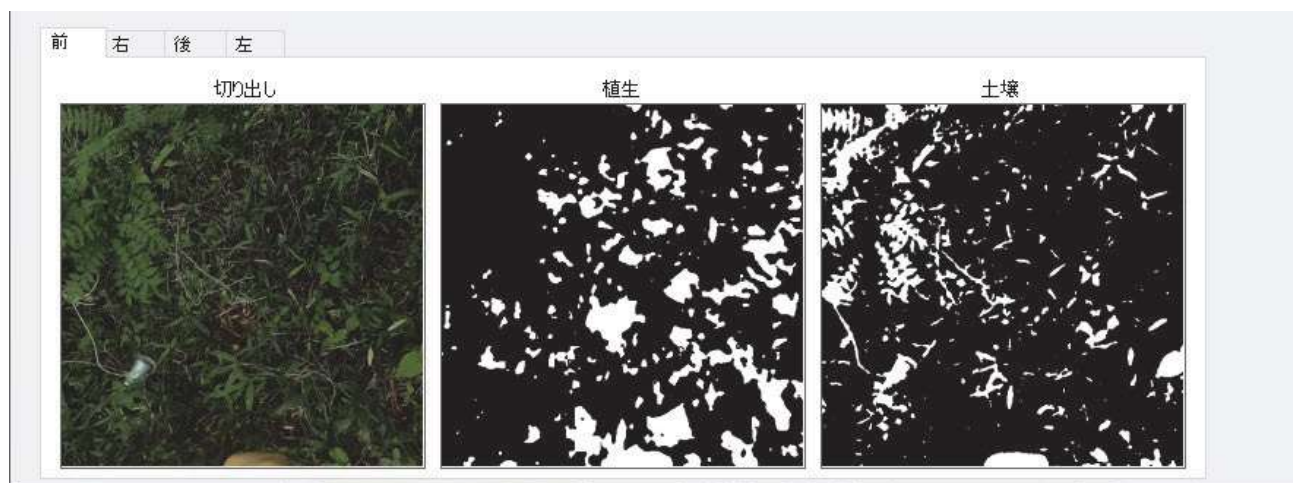


図9 360度カラー画像の足元前面の切り出した平面投影カラー画像（左）と林床緑被（中央）及び土壌露出部分（右）の二値化処理画像の表示例

注：上部の「前・右・後・左」タブを選択すると、パラメーター値及び値に対応した足元方向の切り出し画像及び二値化画像が各枠に表示される

クスに画像ファイルのフルパス名、画像を取得した場所（撮影地点）の経緯度および撮影日時が表示される（図8）。

360度カラー画像の表示後、「画像切り出し」ボタンをクリックすると、撮影位置から前後左右の足元の平面投影カラー画像を切り出し、植生および土壌として認識するピクセルとそれ以外とを二値化した画像が、初期パラメーター値で表示される。平面投影カラー画像の切り出しに関しては足元の角度（＝水平方向からの伏角、マイナス（-）符号は下向きであることを示す）の初期パラメーター値は-55で、切り出す視野の範囲は上下±60° 左右±30°の範囲で選択できる。植被と土壌露出の判定に

関しては、二値化に用いるHSV空間のH:色相(0-360)とV:明度(0-255)の各値の上限と下限を指定する。H値の初期値は、撮影条件の違い等を考慮して検討結果(75 ≤ H ≤ 125)を含んだ一般的に緑色とされる色相の範囲(50 ~ 150)とした。土壌として認識するV値の初期値は濃い暗色(0 ~ 80)の明度の範囲である。

切り出した平面投影カラー画像およびその二値化画像は、フォーム下半分の「前」「右」「後」「左」の各タブページに表示される（図9）。タブを切り替えて、各方向の切り出した画像と、そこから抽出した植生および土壌の二値化画像を比較し、パラメーターが適切かを検討する。パラメーターを変更

|    | A   | B    | C   | D    | E        | F        | G              |
|----|---|------|-----|------|----------|----------|----------------|
| 1  |   | H    | S   | V    |          |          |                |
| 2  | 植生 low  | 70   | 0   | 0    |          |          |                |
| 3  | 植生 high   | 150  | 255 | 255  |          |          |                |
| 4  | 土壌 low  | 0    | 0   | 0    |          |          |                |
| 5  | 土壌 high   | 80   | 255 | 255  |          |          |                |
| 6  |   |      |     |      |          |          |                |
| 7  | ファイルパス  | 植生   | 土壌  | その他  | 緯度       | 経度       | 撮影日時           |
| 8  | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-10_GS_0614.JPG | 35   | 0   | 96.5 | 35.48134 | 139.1729 | 2020/9/8 10:58 |
| 9  | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-11_GS_0613.JPG | 24   | 0   | 97.6 | 35.48136 | 139.173  | 2020/9/8 10:58 |
| 10 | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-12_GS_0612.JPG | 17.1 | 0   | 82.9 | 35.48139 | 139.1731 | 2020/9/8 10:58 |
| 11 | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-13_GS_0611.JPG | 3    | 0   | 97   | 35.48142 | 139.1733 | 2020/9/8 10:57 |
| 12 | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-14_GS_0610.JPG | 1.2  | 0   | 98.8 | 35.48145 | 139.1733 | 2020/9/8 10:57 |
| 13 | C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVRVA-1-15_GS_0609.JPG | 3.5  | 0.1 | 96.5 | 35.4815  | 139.1734 | 2020/9/8 10:56 |

図 10 アプリケーションから出力される CSV ファイルの例

注：CSV ファイルには植被と土壌露出部の値範囲と、画像解析処を行った 360 度カラー画像のフルパスのファイル名、撮影した日時、撮影地点場所の緯度・経度、各足元東西南北 4 方向の緑被、土壌露出、その他の被覆の平均割合が「植生」、「土壌」及び「その他」としてこの図に示す順序で、画像ファイルのあるフォルダに「result.csv」ファイル名で出力される。

し再度 [画像切り出し] ボタンをクリックすると切り出した画像と二値化画像が更新される。なお、360 度カラー画像から切り出した足元の平面投影カラー画像の上でマウスクリックすると、クリックした場所のピクセルの H、S、V 値をポップアップ表示することができる。

続いて、画像の一括連続自動計測処理に進む。植被と土壌露出の両方の閾値を決定後、[評価] ボタンをクリックすると、テスト用に読み込んだ画像があるフォルダ中の、すべての画像ファイルについて指定した値を適用して画像抽出を行い、該当するピクセル数を計算して緑被、土壌露出部、その他（全体から植生と土壌の合計ピクセル数を差し引いたもの）の面積割合が CSV 形式のテキストファイルに出力される。このファイルには、緑被と土壌露出部を検出するのに使用した H 値と V 値の範囲、処理した 360 度カラー画像のフルパスのファイル名、撮影した日時、撮影地点場所の緯度・経度、緑被（＝林床植生被覆）、土壌露出、その他（＝リター堆積）の割合が含まれている（図 10）。なお、初期画面にある「切り出した画像をファイルとして残す」のボタンにチェックを入れておくと、切り出した画像および緑被・土壌として認識した二値化画像があらかじめ決まったフォルダに格納保存される。

## 5 おわりに

本報告で示した 360 度カラー画像から撮影地点の足元の平面投影カラー画像を作成して、この画像を用いて林床植生被覆率などを計測する方法について

は、目視による計測値と概ね一致することが確認できた。そして、この基本処理をベースとして、様々な異なる場所や条件で撮影した 360 度カラー画像に対応でき、多数の画像を連続一括自動処理できるグラフィカル・ユーザーインターフェース機能を持ったアプリも併せて開発することができた。そこで、今後は、各種の森林環境モニタリングにおいて 360 度カラー画像を多点で撮影して森林内景観のアーカイブを進める際に、このアプリの一括計測機能を用いて林床状態データの蓄積を効率的に行い、GIS とも連動させ広域的な森林環境評価に活用していきたいと考えている。ただし、初ほか（2010）が示した方法とは、土壌露出率を土壌の色情報を用いて計測し林床被覆率を算出する点で異なっており、この方法の妥当性も含めたさらなる検討を行っていく必要がある。今後の課題としたい。

## 6 謝辞

本研究にあたり、神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課の内山佳美主任研究員（現同部自然再生企画課）及び大石圭太特別研究員から、解析に用いた堂平地区の林床被覆データの本研究での使用を快諾していただいた。また、本稿の作成にあたり、丁寧かつ適切なコメントを同課の谷脇徹主任研究員から頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。



## 引用参考論文・資料

- カラーサイト.com. 土色（つちいろ）の明度別色一覧. <https://www.color-site.com/names/402>. (2023年6月30日確認)
- 三浦 覚 (2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価. 日本林学会誌 82 (2) 132-140
- 農学情報科学 (2019) 葉の検出, <https://axa.biopapyrus.jp/ia/examples/leaf-detection/> (2023年12月11日確認)
- OpenCV (2022) Open Source Computer Vision Library. <https://opencv.org/> (2023年6月30日確認)
- 初 磊, 石川 芳治, 白木 克繁, 若原 妙子, 内山 佳美 (2010) 丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壤侵食量の関係. 日本森林学会誌 92 (5) 261-268
- The Python Software Foundation (2022) The Python Language Reference. <https://docs.python.org/3/reference/index.html> (2023年12月11日確認)