

VR360 度画像を用いた 樹冠開空度計測アプリケーションの開発

雨宮 有*・山根正伸**

Development of an application for measuring canopy openness using 360-degree VR camera images

Tamotsu AMEMIYA*, Masanobu YAMANE**

1 はじめに

樹冠開空度は林冠の隙間の度合いを表すもので、林内の光環境を表す重要な指標の一つ（棚部・籠原 1999）である。この樹冠開空度の測定法として普及しているのが、画角 180 度の魚眼レンズを用いて全天空写真を撮影し、その画像を開空部分とその他の画素を二値化し、画像面積に対する樹冠の隙間の割合を算出する方法である。この方法は、当初の白黒フィルム画像から直接面積を判読するもの（早稲田 1983）から、白黒フィルム画像をイメージスキャナによりデジタル化後二値化処理して計測する方法（兼平 1992）、さらにはデジタルカメラに魚眼レンズを装着して撮影したデジタル画像を用いて処理する形へと改良されてきた。また、樹冠開空度の画像解析手法についても各種の検討（石山ほか 1995、棚部・籠原 1999 など）が加えられ、また画像解析フリーソフト（LIA32：山本 2003、CanopOn2：竹中 2009 など）も公開されている。さらに、最近では、全天空も含む 360 度画像を撮影できる VR カメラが比較的安価で利用できるようになっており、VR360 度画像から天空写真を作成する方法も開発され（Honjo et al., 2019）、樹冠開空度を測定するための R 言語（R Core Team 2021）のスク립ト（Script：簡易的なプログラム）も公開されている（竹中 2021）。

この VR360 度画像を用いて樹冠開空度を計測する

方法の利点はいくつかある。まず、同時に撮影地点周辺の景観が同時に記録でき、VR360 度画像を撮影する専用デジタルカメラには撮影時間に加えて撮影場所の GPS 情報を付加した林内の状況や林床状態などの映像情報が得ることができる点である。また、同じ判別する VR 画像を画像処理することで撮影地点付近の林床の植被や土壌露出度といった林床状態の数値指標を同時に算出することも可能で（山根・雨宮 2024）、森林状態の評価において多用途での活用が期待できる。

そこで、筆者らは Honjo et al.(2019)の原理に関する報告を参考にして、ほぼ同じ条件で多数撮影された VR360 度画像 (360° パノラマ画像：Cylindrical Equidistant Projection Image) から樹冠開空度を一括計測し撮影時間、撮影位置情報を出力する、ユーザーインターフェース機能を有するアプリケーション（以下「アプリ」）を Python (The Python Software Foundation 2022) の画像解析モジュールを活用して開発したので、その概要を報告する。

なお、図 1、図 2 の原図については、日本農業気象学会より転載の許諾を得ている。

2 アプリケーションの概要

(1) 機能

本アプリは、以下に示すとおり VR360 度画像から

*GIS インスティテュート

** 神奈川県自然環境保全センター研究連携課

天空写真を作成（機能 1）し、ピクセルの明度で分類して二値化することにより樹冠開空度（天空率）を一括して算出する（機能 2）ものである。

ア 天空写真の作成

Honjo et al. (2019) の原理を参考として、VR360 度画像から天空写真に変換するプログラムを python 言語により独自に作成した。なお、ここで用いた、VR360 度画像のピクセル値 (x, y) から 180 度魚眼レンズ撮影画像 (Equidistant Fisheye Image = 天空写真：正距円筒図法) のピクセル値 (u, v) の相互変換式は次に示すとおりである。

$$u = y \cos\left(\frac{\pi}{2\ell}x\right) \quad (1)$$

$$v = y \sin\left(\frac{\pi}{2\ell}x\right) \quad (2)$$

$$x = \frac{2\ell}{\pi} \tan^{-1} \frac{v}{u} \quad (3)$$

$$y = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

ここで、 ℓ は画像サイズのパラメータで、 4ℓ が VR360 度画像の水平ピクセル数、 2ℓ が垂直ピクセル数である。

原論文には座標軸の取り方が説明されていないので、図 1 に示すように、画像の左上を原点として、右向きに x 軸 (Column)、下向きに y 軸 (Row) とした。1 は元の VR360 度画像の高さの 1/2 で、画像の幅は 4ℓ として求める。このピクセル数 1 が角度 90° に

相当する。一方、天空写真では写真中央（天頂方向）を原点として、右向きに u 軸、上向きに v 軸をとり、画像の幅と高さはともに 2ℓ (180° に相当) で、原点のオフセットは (ℓ, ℓ) になる。このとき u 軸の正方向は VR360 度画像の $x=3\ell$ で、式 (6) の角度 $\tan^{-1}(v/u)$ は 3ℓ から右へ図った角度となるので、VR360 度画像と天空写真相互のピクセル数の投影変換式 (1) ~ (4) の関係を用いて、 x の値を 360° VR360 度画像の $x=3\ell$ から右へ数えたピクセル数として求めたそれぞれの式に代入して、天空写真の画像座標 (x, y) のピクセル値 (図 2) を求めるプログラムを作成した。

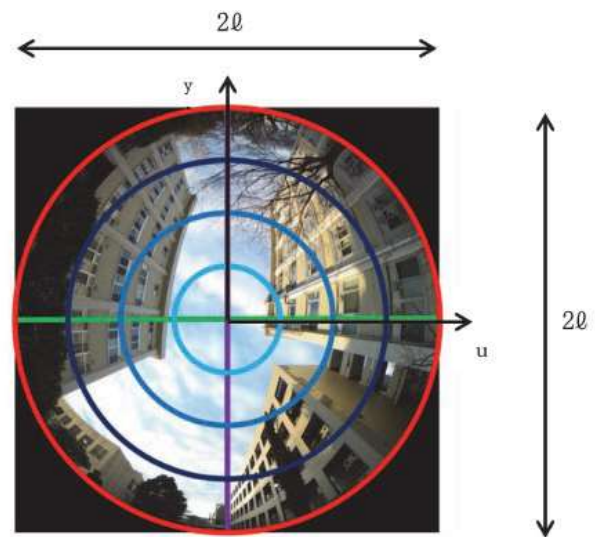


図 2 等角投影の天空写真 (Honjo et al. (2019) の Fig. 3b に対応)

注：図中の数字、記号は本文参照

なお、VR 機材により、VR360 度画像の傾き補正（天頂補正）が有効なもの（『水平維持機能』などの呼称が使われることがある）とそうでないものがある。

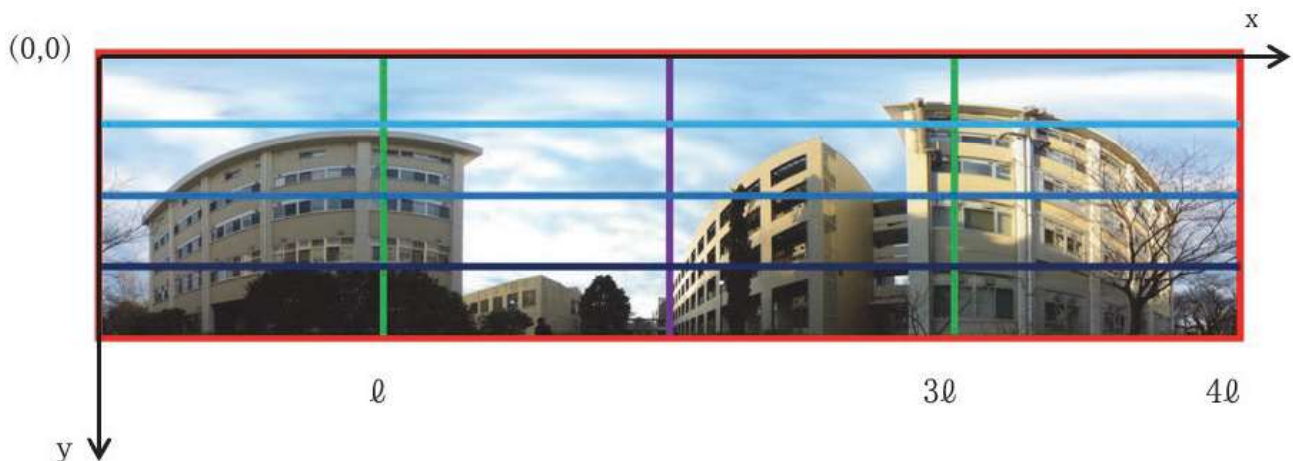


図 1 VR360 度画像の上半分 (Honjo et al. (2019) の Fig. 3a に対応)

注：図中の数字、記号は本文参照

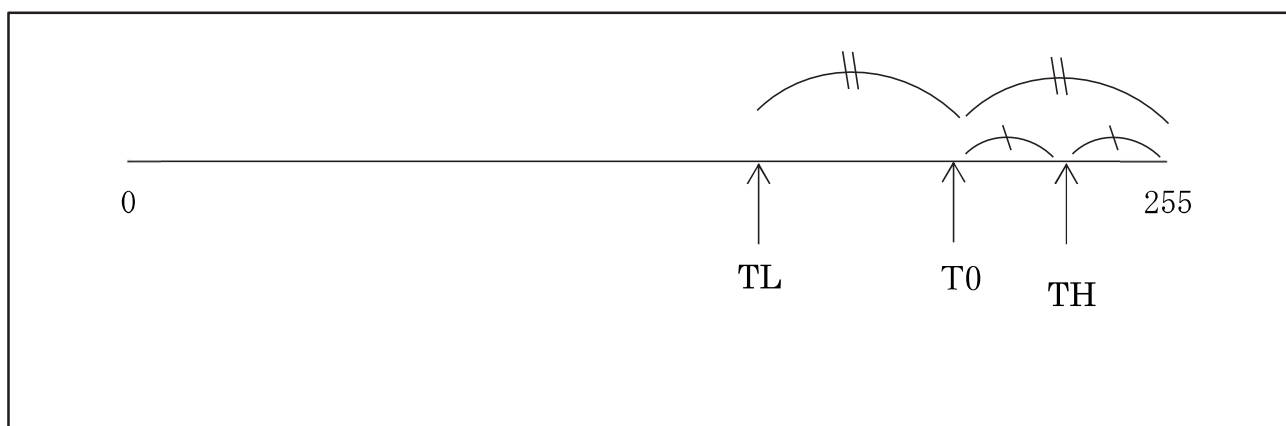


図3 天空写真における樹冠開空部判定の明るさの閾値設定の方式

注：横軸は明るさ V の範囲 (0 ~ 255)。

注2：T0：指定した閾値上限値、TL・TH：参考の閾値の上限値

ここで示した処理は、その機能があることを前提としているので、使用できる場合は撮影時に傾き補正機能を有効にしておく必要がある。補正機能がない機種を使用する場合は、天頂位置がずれないように留意した撮影を行うことが必要である。

イ 樹冠開空度の計測

VR360 度画像ファイルを天空写真に変換し、樹冠開空部の面積を計測する。処理は、画像の各ピクセル RGB 値を HSV 値に変換後、明るさ (V 値) の閾値を与えて白黒の二値化画像を作成し、天空部分の全ピクセル数に対する樹冠開空部とする白部分のピクセル数の割合を樹冠開空度として算出する手順で行う。閾値の設定では、指定した閾値 T0 より高い明るさ ($TH = 255 - (255 - T0) \div 2$) および低い明るさ ($TL = 255 - (255 - T0) \times 2$) を閾値として二値化した画像も作成し、参考画像として確認できるようにした (図3)。さらに V 値を変えて、また幾種類かの画像で二値化画像を作成して、画像に適用する閾値を定めるような機能を加えた。

ウ 処理結果の出力

読み込んだ VR360 度画像を天空写真に変換して計測した樹冠開空部の面積割合を画像ファイル名と併せて CSV 形式のテキストファイルに書き出す。同時に、VR360 度静止画ファイルに記録されている exif (Exchangeable Image File Format: デジタル写真に付与される撮影情報や位置情報などのデータ) 情報を参照する形で、撮影した日時と撮影場所の緯度・経度も書き出す。なお、機種により緯度・経度情報

が記録されていない場合は、該当値は空欄となる。

3 アプリケーションの実行方法

(1) 動作環境

本アプリ「VRsky.exe」は、3 個の Python 言語で記述したスクリプトで構成され、Windows 10 (.Net Framework 4.8) および Anaconda3 (Python 3.8.8 以降) + OpenCV (OpenCV 2022) のもとで動作する。

なお、アプリで、上述した機能について、一連の VR360 度画像を一括処理でき、操作しやすいグラフィカルユーザインターフェース (GUI : Graphical User Interface) 環境を付加した。

(2) アプリケーションの操作

ア アプリケーションの起動と終了

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った後、実行形式プログラム (VRsky.exe) 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4)。アプリは、フォーム右上の×印をクリックして終了させる。なお、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」 (<https://github.com/sunset1995/py360convert>) は事前に所定のフォルダにインストールしておく必要がある。

イ VR360 度画像ファイルの読み込み・表示

フォームの表示後、VR360 度画像ファイルがあるフォルダから画像ファイルを選択して [開く] をク

図 4 アプリの初期画面フォーム

図 5 VR360 度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58分18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度静止画像（緯度35度28分52.43秒、経度139度10分22.04秒）を使用して、明度下限値224での計測を指定している

リックすると、選択した画像が読み込まれ、テキストボックスに画像ファイルへのフルパス名、画像を取得した場所（撮影地点）の緯度・経度および撮影日時が表示される（図5）。

ウ 天空写真変換及び画像二値化処理

続いて、フォーム右中央にある、「天空写真」ボタン横に表示されている「V：明度の下限（0-255）」の欄に指定する明度の下限の数値を入力するか、「▲▼」ボタンをクリックして数値を変更する。そし

て、「天空写真」ボタンをクリックすると、①天空写真の作成、②指定した閾値で天空写真を分類し、明るい部分（空）と暗い部分（遮蔽物）に二値化した抽出画像を作成後、③VR360度画像の横に作成した画像が並べて表示される。この処理では、指定した閾値 T_0 より高い明度 $(TH = 255 - (255 - T_0) \div 2)$ および低い明度 $(TL = 255 - (255 - T_0) \times 2)$ を閾値として二値化した画像も作成し、参考画像として表示する（図6）。

元の天空画像と二値化した画像を見比べながら試

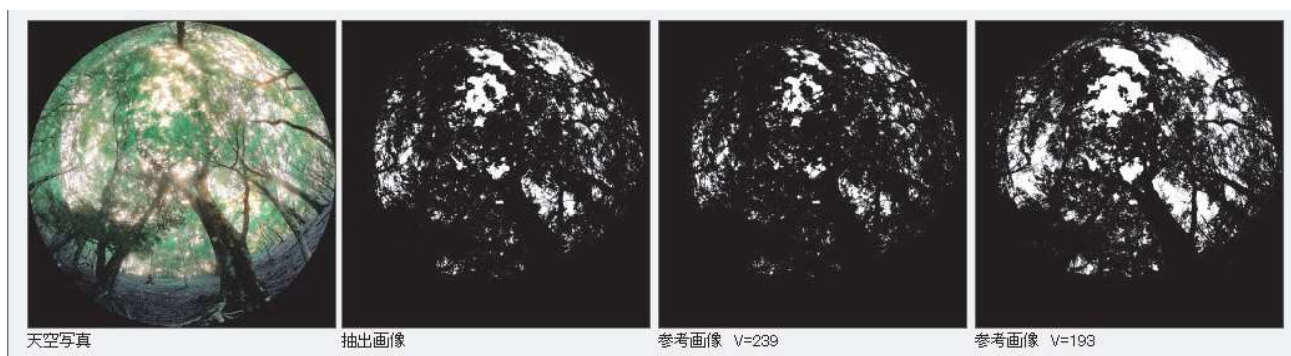


図6 天空写真の二値化処理結果の例

注：左から天空写真に変換した画像、指定明度で開空部分を二値化した画像、明度 229 で二値化した画像及び明度 193 で二値化した画像を示す

	A	B	C	D	E
1	V_low = 224				
2					
3	ファイルパス	天空率	緯度	経度	撮影日時
4	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-10_GS_0614.JPG	0.121	35.48134	139.1729	2020/9/8 10:58
5	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-11_GS_0613.JPG	0.139	35.48136	139.173	2020/9/8 10:58
6	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-12_GS_0612.JPG	0.127	35.48139	139.1731	2020/9/8 10:58
7	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-13_GS_0611.JPG	0.095	35.48142	139.1733	2020/9/8 10:57
8	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-14_GS_0610.JPG	0.14	35.48145	139.1733	2020/9/8 10:57
9	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-15_GS_0609.JPG	0.124	35.4815	139.1734	2020/9/8 10:56
10	C:\temp\test_python\堂平ネズミラップVR\A-1-16_GS_0598.JPG	0.11	35.48109	139.1719	2020/9/8 10:47

図7 アプリケーションから出力される CSV ファイルの例

注：CSV ファイルには開空部分抽出のための明度の下限値 V_low 値と、画像解析処を行った VR360 度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、天空率が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。

行錯誤的に V 値を変えて、また幾種類かの画像で二値化画像を作成して、全画像に適用する閾値を決定する。その後、読み込んだ VR360 度画像から天空写真が一括して数秒で作成される。この際、「処理した画像をファイルとして残す」にチェックマークを入れておくと（初期画面ではチェックが入っている）天空写真の画像が保存され、二値化画像の作成処理が数秒で終了する。

作成した画像は、VR360 度画像があるフォルダ下の tmpfiles フォルダに次の名前で作成される。

天空写真：

<VR360 度画像のファイル名>_sky.jpg

二値化画像（閾値=T0）：

<VR360 度画像のファイル名>_thre.jpg

二値化画像（閾値=TH）：

<VR360 度画像のファイル名>_high.jpg

二値化画像（閾値=TL）：

<VR360 度画像のファイル名>_low.jpg

エ 全画像の計測

閾値の設定後、[評価] ボタンをクリックすると、テストのため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天空写真と閾値を T0 とする二値化画像を作成し、天空写真中の空の面積割合を CSV 形式のテキストファイルに書き出す。同時に、VR360 度画像の撮影日時と撮影場所の緯度・経度も書き出す。テキストファイルは画像があるフォルダ中に「result.csv」のファイル名で保存（図 7）し、処理終了のメッセージが表示される。なお、出力ファイルには、1 行目は二値化に使った V の閾値を、2 行目は空行、3 行目はフィールド行で、4 行目以降に画像ファイルのフルパス名と樹冠開空度（天空率）、撮影場所の緯度・経度、撮影日時が記録される。

4 おわりに

我々は、本報告で紹介した VR360 度画像から樹冠開空度を一括計測するアプリに加えて、森林状態を

指標する林床植被率を一括自動取得する機能を持ったアプリ（山根・雨宮 2024）を開発済みであり、今後、これら二つのアプリを各種の森林モニタリング調査に活用するとともに、アプリの統合化、機能の高度化を図っていきたいと考えている。

引用参考文献

- 1) Honjo T., Linb T. and Seo Y. (2019) Sky view factor measurement by using a spherical camera. *Journal of Agricultural Meteorology* 75(2) : 59-66
- 2) 石山 高至・石垣 逸郎・井上 公基・劉 建志 (1995) 樹冠開空度についての考察. 47 回日林関東支論 : 103-106
- 3) 兼平 文憲 (1992) イメージスキャナと全天空写真を利用した開空度の推定. *青森県林試報* 42 : 11-9
- 4) 竹中 明夫 (2009) 全天写真解析プログラム Canop0n 2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>
- 5) 竹中 明夫 (2021) Canop0n 2 関連の補足情報. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/appendix.html>
- 6) OpenCV (2022) Open source computer vision library. <https://opencv.org/> (2023 年 6 月 30 日確認)
- 7) R Core Team(2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (2023 年 6 月 30 日確認)
- 8) 棚部 一将・龍原 哲 (1999) 全天空写真による樹冠開空度の推定 : カラー画像の教師付き分類. *森林計画学会誌* 33: 29-38
- 9) 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)
- 10) 早稲田 収 (1983) 開空度の測定とその光環境としての応用. *林試研報* 323 : 9-13
- 11) 山根 正伸・雨宮 有 (2024) 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. *神奈川県自然環境保全センター研究報告* 18:63-71
- 12) 山本 一清 (2003) LIA for Win32 (LIA32) ver. 0.376 β1. <https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/LIAMan.htm> (2023 年 6 月 30 日確認)