

デジタルカメラ画像を用いた立山山岳地の植生解析

小野 朗子* 山口 遥大**

Vegetation analysis of Tateyama mountain using digital time-lapse camera images

Akiko ONO* and Haruto YAMAGUCHI**

To understand global climate changes, it is essential to monitor the temporal and spatial distributions of vegetation. Digital cameras are relatively inexpensive to operate and have small labor requirements, allowing the detection of subtle seasonal variation at high spatial resolution. Recent studies have reported that camera-based indices calculated from the digital values of 3 color components are helpful in grasping the seasonal variation of vegetation phenology, such as leaf expansion or fall. To examine this possibility, we investigated seasonal variation characteristics of camera-based indices for alpine plants. Although digital camera values are modified by solar radiation, this dispersion can reduce by using the normalized color component values with their arithmetic mean. We surveyed the relationship between well-known indices (VIgreen and 2G_RBi) and the seasonal variation of five major alpine plant types. The VIgreen index is very useful for the analysis of seasonal changes in alpine plants.

Keyword vegetation index, seasonal variation, phenology analysis, alpine plant

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響による高山植物の種類や生育場所などの様々な変化が世界各地で報告されている¹⁾。気候変動に関する政府間パネル IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) でも気候変動に対する高山生態系の脆弱性が指摘されており²⁾、長期的なモニタリングの必要性が世界的に認識されている。

高山帯は、厳しい自然条件とアクセスの難しさから、これまで詳細なデータを広範囲で連続的に取得することが困難であった。従来の地上調査方法では、多大な労力を要する上に調査地点や期間が限定される。一方、人工衛星による観測では、広域を反復的に調査することが可能になるものの、雲や霧の発生しやすい高山帯では観測頻度が極めて制限されてしまう。

これらの弱点を補う高分解のモニタリング手法の一つとして、近年、デジタルカメラの利用が注目されている³⁾。

* 近畿大学工業高等専門学校
総合システム工学科 制御情報コース

** 近畿大学工業高等専門学校 専攻科
生産システム工学専攻 情報工学

従来の分光放射計に変わって、デジタルカメラを解析に用いる研究が増えつつあり、高山帯における植生変化の有無や、その変化の要因を探るための科学的知見が得られることが期待される。

地球温暖化による高山生態系への影響の把握とその要因を解明するための基礎研究として、ここでは、標高 3,000m 級の山々が連なる北アルプス (飛騨山脈) の最北部、富山県の立山を撮影した定点カメラの連続撮影画像を用い、高山植生の経時変化や季節変化などを調べ、樹種の異なる植生の変化の特徴を把握することを研究目的とする。この目的を達成するために、植生のフェノロジー (植物季節) を検出する指標 (指数) の検証を行い、自動撮影カメラによる高山植物のモニタリング方法の有効性を調べた。

2. 解析領域

国立環境研究所 地球環境研究センターは、立山室堂山荘の協力のもと、標高 3,000m 級の山々が連なる日本最北端の高山である北アルプス (飛騨山脈) の中部山岳地域の

高山帯、富山県中新川郡立山町の立山観測サイトにデジタルカメラを設置し、積雪・融雪と、植生フェノロジーの把握を目的としたモニタリングを 2009 年度から試行し、2011 年度から本格的な調査を開始した³⁾。地球温暖化による高山生態系への影響を把握するため、本研究では、立山観測サイトを研究対象地とし、高山植物のモニタリングを行い、植生の経時変化や季節変化を調べる。Table 1 に観測対象地の情報をまとめて示す。

Table 1. 立山観測サイトの情報³⁾

解析領域	富山県中新川郡立山町
緯度	北緯36度34分40秒 (36.578)
経度	東経137度36分04秒 (137.601)
標高	2447 m
観測対象	雄山, 大汝山, 富士ノ折立
使用機材	Canon EOS 5D Mark II 2100万画素
観測開始	2009年09月06日
観測時間 / 観測頻度	5時から17時 / 1時間おき
観測期間	4月～11月

3. 解析手順

デジタルカメラで自動撮影すると、同じカメラで同じ被写体の撮影を行っても、撮影時の天候や光環境などの影響を受けて、撮影画像の色調は大きく変動する。従って、天候や光環境などの変化に影響されにくく、頑健で、かつ統一的な基準でフェノロジーを判定する解析手法が必要になる。本研究では、以下の手順で解析を進めた。

デジタルカメラで撮影された画像データは3原色 B, G, R の画素値で構成されている。ここでは、各原色のデジタル値をそれぞれ B, G, R で表し、各画素のデジタル値から、以下に示す5種類の既存の植生指数を算出する。

$$NB = B / Am_{RGB} \quad (1)$$

$$NG = G / Am_{RGB} \quad (2)$$

$$NR = R / Am_{RGB} \quad (3)$$

$$Am_{RGB} = (B + G + R) / 3$$

$$VI_{green} = (G - R) / (G + R) \quad (4)$$

$$2G_RBI = 2G - (R + B) \quad (5)$$

これらの5指数について、天候や光環境などに対する影響と、5つの植生タイプ（ハイマツ、落葉低木、ササ、高茎草本、雪田植物）の季節変化を調べ、指数の有用性を検討した。

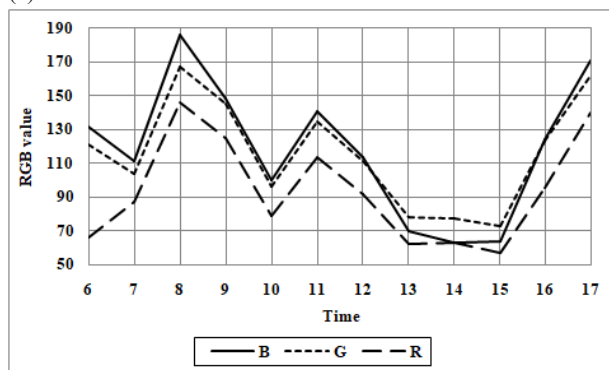
4. 解析結果

4.1 正規化処理の検証

最初に、植生タイプの1つであるマツ科の常緑針葉樹、ハイマツの領域で、生(正規化前)のデジタル値 B, G, R と正規化後のデジタル値 NB, NG, NR がどのように時間変動しているか、調べた。

一例として、2017年8月2日に撮影された画像から得られるデジタル値の経時変化を Fig. 1 に示す。同じ観測日に同じ位置を観測しているにも関わらず、生のデジタル値 B, G, R は観測時間の光環境の影響を受け、値が大きく変動している。これに対して、正規化後のデジタル値 NB, NG, NR は、日中、ほぼ一定である。このように、正規化処理を施すことによって、撮影時の天候や光環境の影響が大幅に抑制される。そのため、植物自身の葉の色や葉量、生長量や活性度の違いが掴みやすくなると考えられる。

(a) RGB value



(b) Normalized RGB value

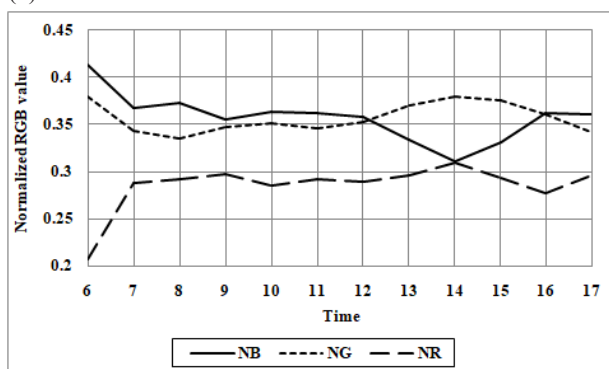


Fig. 1. 2017年8月2日に撮影されたハイマツ領域の (a) 正規化前と (b) 正規化後のデジタル値の経時変化。横軸が時間、縦軸がそれぞれのデジタル値

さらに、2017年8月の1ヶ月間の6時から19時に観測されたデータから、時間ごとの平均値と標準偏差を算出し、変動係数 (= 標準偏差 / 平均値) を調べた結果、正規化処理を行うことによって、係数の昼間の時間変動が圧倒的に小さくなることがわかった。特に、係数の変動が小さいのは正午付近の時間帯である。そこで、11時から13時に観測されたデータをその日の観測データとし、それらに正規化処理を施した値を指数として用いて、植生フェノロジーの解析を行った。

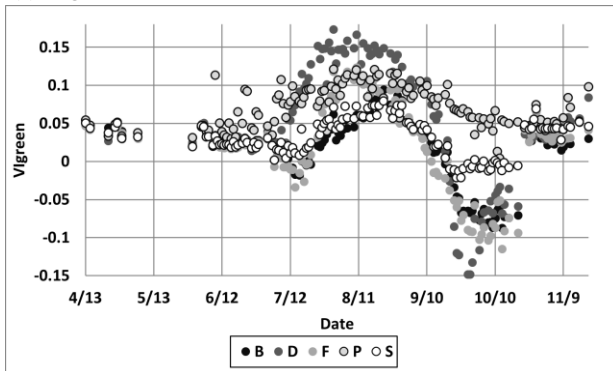
4.2 植生フェノロジー解析

デジタルカメラ画像の解析において代表的な指数、 VI_{green} と $2G_RBI$ が、立山観測サイトに生息する代表的

な5つの植生タイプ（ハイマツ (P)、落葉低木 (D)、ササ (S)、高茎草本 (F)、雪田植物 (B)) の領域で、開葉、開花、紅葉、落葉といったフェノロジー（植物季節）にどのように対応しているかを調べるために、それぞれの領域で季節変化を算出した。

Fig. 2 に5つの植生タイプの2017年における Vlgreen と 2G_RBi の季節変化を示す。両指数共に、植生タイプごとに値の大きさや季節変化の形状が異なるが、いずれも初夏に値が増加し始め、夏に高い値を達し、秋になると値が徐々に減少する季節変化を示している。常緑針葉樹のハイマツ (P) を除く植生では、秋の落葉期は春よりも低い値が得られた。夏の繁茂期の Vlgreen は落葉低木、高茎草本、ハイマツ、雪田植物、ササの順に、秋の紅葉期はハイマツ、続いてササの値が高くなった。一方、夏の繁茂期の 2G_RBi は高茎草本、落葉低木、ササ、雪田植物、ハイマツの順に、秋の紅葉期はササ、ハイマツ、雪田植物、高茎草本、落葉低木の順に値が高くなった。2指数を比較すると、正規化処理を施した Vlgreen の季節変化の方が植生タイプの違いをよく表している。

(a) Vlgreen



(b) 2G_RBi

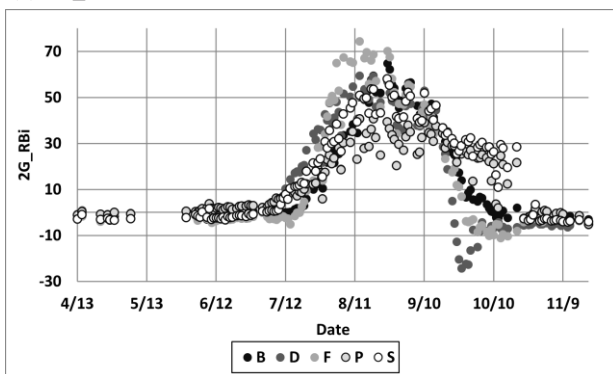


Fig. 2. 2017年に撮影された5つの植生タイプ（ハイマツ (P)、落葉低木 (D)、ササ (S)、高茎草本 (F)、雪田植物 (B)) の (a) Vlgreen と (b) 2G_RBi の季節変化。横軸が日にち、縦軸が指数値

Vlgreen と 2G_RBi の散布図を Fig. 3 に示す。植生判別という視点からこの散布図を見ると、落葉低木 (D) と

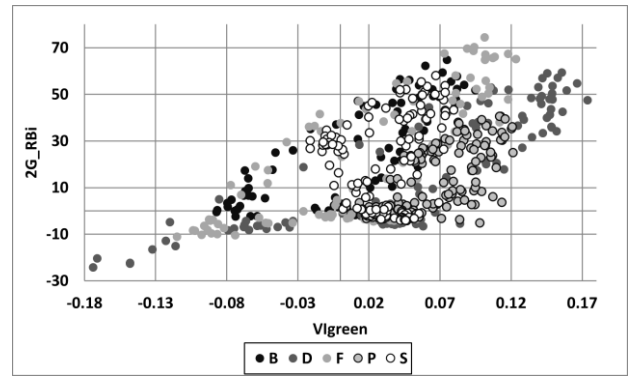


Fig. 3. 2017年に撮影された5つの植生タイプ（ハイマツ (P)、落葉低木 (D)、ササ (S)、高茎草本 (F)、雪田植物 (B)) の Vlgreen と 2G_RBi の散布図。横軸が Vlgreen、縦軸が 2G_RBi

高茎草本 (F)、ハイマツ (P) は繁茂期のデータのプロット密集度が高く、植生タイプが判別しやすいが、雪田植物 (B) とササ (S) は似通った分布になっていて、判別が難しい。

次に、植生タイプごとに2010、2017、2018、2020年の4年ごとの指数値の季節変化を Fig. 4 に示す。両指数とも、年々、値が増加しており、植物が徐々に生長している様子が窺える。増加量大きい雪田植物では10年間に5割、増加量小さい落葉低木でも3割、指数値が増加している。

ハイマツの Vlgreen 値は、他の植生タイプに比べて年ごとに値のバラツキが大きく、特に2020年は例年より早く、春先から値が増加し始め、他の年と季節変化が大きく異なっている。この要因として、例年に比べ雪解けが早かった、気象条件がハイマツの成長に適していた、ハイマツから他の植生に変移したなど、様々なことが考えられる。今後、他の年のデータも確認し、上記の要因との関連を詳細に調べていきたい。

5. まとめと今後

本研究は、デジタルカメラ画像を用いて立山山岳地の高山植物の生育・活性度と分布状況を把握するための基礎研究として、2010、2017、2018、2020年に撮影された4年間の観測データからデジタル値と正規化デジタル値、2種類の植生指数 (Vlgreen と 2G_RBi) を算出し、5つの植生タイプ（ハイマツ、落葉低木、ササ、高茎草本、雪田植物）の季節変化の特徴について調べた。

解析に用いたデジタルカメラの画像は、撮影時の天候や光環境などの影響を大きく受け、デジタル値（色調）は大きく変動している。一方、正規化したデジタル値 NB, NG, NR は、生（正規化前）のデジタル値 B, G, R に比べ、天候や光環境など影響が小さく、正規化処理を行うことで、植生自身の生長量や活性度の状況の情報を安定した値で

謝辞

本解析で用いた立山室堂観測サイトで撮影されたデジタルカメラ画像は国立環境研究所 小熊宏之博士より提供して頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Lenoir, J., J.C. Gegout, P.A. Marquet, P. de Ruffray, H. Brisse, 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century, *Nature*, 416, pp. 389-395.
- 2) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 3) 小熊宏之, 井手玲子, 2014. 自動撮影カメラを用いた高山植生の季節性のモニタリング, *地球環境*, Vol. 19, No. 1, pp. 79-86.
- 4) 小野朗子, 林田佐智子, 小野厚夫, 2015. デジタルカメラを用いた落葉針葉樹カラマツ林の植生解析, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No. 1, pp. 20-31.
- 5) Gitelson, A.A., Kaufman, E.T., Stark, R., Rundquist, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sensing of Environment*, 80(1), pp. 76-87.
- 6) Richardson, A.D., Jenkins, J.P., Braswell, B.H., Hollinger, D.Y., Ollinger, S.V., Smith, M.-L., 2007. Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest, *Oecologia*, 152(2), pp. 323-334.

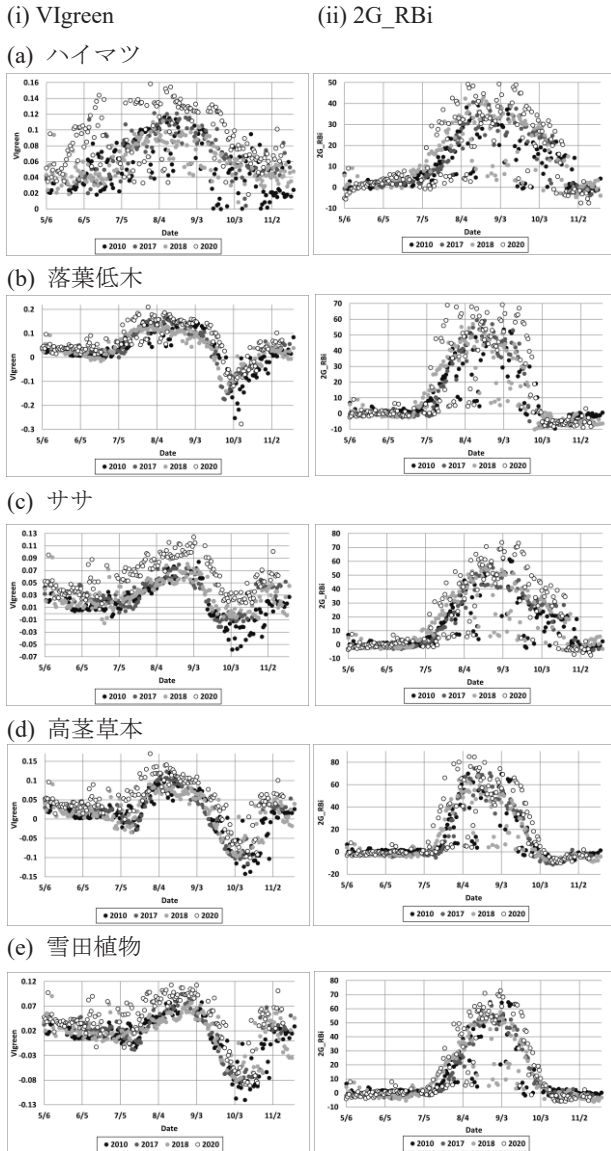


Fig. 4. 2010、2017、2018、2020年に撮影された5つの植生タイプ(ハイマツ、落葉低木、ササ、高茎草本、雪田植物)の(i) VIgreen と(ii) 2G_RBiの季節変化。横軸が日にち、縦軸が指数値

抽出できることがわかった。次に、デジタルカメラ画像の解析において代表的な2種類の指数、VIgreen と 2G_RBiを用いて、代表的な5種類の高山植物の季節変化を調べた。その結果、正規化処理を施した VIgreen が植生タイプの違いを判別しやすく、植生タイプ(樹種)の分類に役立つ指数であることがわかった。また、立山観測サイトの高山植物の植生指数値が年々増加していて、植物に生長傾向が見られたが、山頂付近に生息するハイマツの生息領域については他の植生とは違う指数値の変化が見られた。今後、他の年に撮影された画像の解析も行い、指数値の変化の要因の追求と植生フェノロジー解析に有用な指数の更なる検証を行っていききたい。