

令和 5 年 10 月 26 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12268

研究課題名(和文)高山から山地における紅葉の時期および色付きの強さに対する気候影響の解明

研究課題名(英文)Climate effects on the timing and brightness of autumn leaf coloring from alpine to mountain range

研究代表者

小出 大(Koide, Dai)

国立研究開発法人国立環境研究所・気候変動適応センター・研究員

研究者番号：50761061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：ブナ林において衛星画像を使って景観レベルの黄葉-気候関係を解析した結果、積算気温を用いて色付きの強さの季節変化をモデル化できた。さらに場所や年による気温の違いが、色付きの強さや色づくまでに必要な寒さの蓄積量に影響している事を記述できた。ブナ林におけるより詳細な個体レベルの黄葉-生産性関係を解析したところ、低標高サイトほど色付きが強い傾向がある中、サイト内の個体スケールだと植生指数が高い個体ほど色付きが弱い関係が示され、強光や乾燥などの環境の個体差が影響していることが示唆された。高山帯の紅葉では消雪日が色付きの強さに影響する関係が見られ、将来的な温暖化に伴い色付きが弱くなる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

秋の紅葉景観は観光資源としても重要な生態系サービスとして認識されているが、その生態的・生理的な研究はこれまで限られていた。これは特にどれほど強く色づくかという視点において顕著に研究が少ないため、本研究は紅葉景観の重要なKPIと言える色付きの強さに関して、その生態的・生理的なメカニズムに迫った点で高い学術的意義を有している。また色付きの強さを気候値から予測するモデルを構築し、色付きの将来変化を予測した点などでは、より直接的に紅葉景観の価値とその将来的な気候変動に伴う変化を評価したものであり、高い社会的意義を示した。

研究成果の概要(英文)：We analyzed satellite images to assess the climatic effects on autumn leaf color brightness in beech forests at a landscape level. We developed a model which describes a relationship between cumulated temperature and color brightness. Spatiotemporal temperature variations impacted the maximum color brightness and the cumulative coldness required for foliage coloring. Further analysis of the individual-level relationship between autumn leaf color and productivity in beech forests revealed a tendency for stronger coloration in warm lower-elevation sites. However, at the individual scale within the sites, highly productive individuals (i.e., high vegetation index) showed lower color brightness, suggesting that individual variations of stress conditions such as drought would play a role. In the case of autumn color in alpine regions, the snow-free date was correlated with the color brightness, indicating a potential decrease in color brightness due to future warming.

研究分野：植物生態学

キーワード：紅葉の色付き 生物季節 マルチスペクトルドローン 衛星画像 メカニズム 定点観察カメラ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の温暖化などの気候変動により、生物の分布や生長量など、多種多様な変化が既に生じており、それに伴う生態系の機能やサービスの変化が危惧されている。生物に見られる様々な変化の中で、樹木の展葉・落葉や鳥の初鳴きなど、生物季節(フェノロジー)に見られる変化は、気候変化に対する反応の速さから重要な気候変動影響指標とされている。フェノロジーの中でも、陸上植物における紅葉は観光産業においても重要な文化的サービスとなっている。しかしこれまでの紅葉研究は低地におけるものが殆どであり、多くの国立公園を含む高山帯や山地帯での報告が非常に少なかった。さらに近年、高山帯のウラジロナナカマドにおける紅葉では、年によっては全く紅葉する事なく葉が落葉する現象が報告されており、地元の観光産業への影響が懸念されている。そのため、気象などの環境要因と紅葉の関係を解析し、その生理生態的なメカニズムの検討が必要となっている。

しかし、春先の展葉に比べ、秋の落葉や紅葉といったフェノロジーは種や場所による反応の違いが大きく、研究があまり進んでいない領域と言える。さらに、紅葉という文化的サービスを論じる上で重要な紅葉の色づき(どの程度赤くなるか)については、世界的にも極めて研究例が少なく、今まさに研究が必要とされている分野である。また一言に紅葉と言っても、高山帯と落葉樹林帯など、標高による種組成の変化にはその進化的・生態的背景の違いが含まれる。高山帯では厳しい低温ストレスに晒され山地帯では種も多く比較的生産性が高いため、両者では年による気象条件の変化に対する対応力(可塑性)が異なることが考えられ、これによって植生帯によるトレンドの違いが生じている可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、我が国における高山帯～山地帯までの紅葉の時期、色づきの強さを左右する気象条件を時空間的に明らかにし、将来起こりうる紅葉という生態系サービスの变化を評価することである。

### 3. 研究の方法

高山帯におけるウラジロナナカマドの紅葉の色づきに関しては、北海道旭岳、北アルプス室堂平、中央アルプス極楽平における定点観測カメラのデータを使用して解析した。対応づける気象データは、現地付近で観測されたデータまたは最寄りの気象観測所におけるデータを使用した。定点カメラによる撮影範囲内から、林冠ごとに観測対象個体を切り出し、その林冠あたり平均のRGB値から色づきの強さの指標としてVARI値を算出し、その季節変化を解析した。2009年から2020年の間に観測された各対象個体のVARI値から、年内で最も強く色づいた値を抽出し、その値と気候値との関係を統計的に解析した。また得られた関係式をもとに、気候値を将来世代における全球気候モデルの予測値に置き換えて、高山帯における紅葉の色付きの将来変化予測を行った。

山地帯におけるブナの黄葉の色づきに関しては、衛星画像データを用いて広域的に解析するとともに、マルチスペクトルドローンを用いて詳細な解析も行った。Terra・Aqua衛星に搭載されたMODISセンサーの観測データから、2010年～2018年に白神山地、妙高戸隠連山国立公園及びその辺縁部のブナ林で観測されたデータを抽出し、メッシュ農業気象データから集計された寒さの蓄積値(8月1日以降日平均気温が20度を下回った値の積算値)との間の統計的な関係を解析した。またマルチスペクトルドローンを用いた解析では、新潟県十日町市内に標高傾度の異なる3ヶ所の調査地を設けて、晩夏に植生指数(NDRE)を使ってクロロフィル量を観測し、秋に黄葉の色付きの強さをVARI値で観測して、林冠ごとに切り出した個体ベースでの黄葉の色づきとクロロフィル量との関係を解析した。

### 4. 研究成果

高山帯では様々な気象因子との相関を比較した結果、紅葉の色付きの強さと強く相関したのは春先の展葉日という結果が得られた。展葉日が遅くなる寒い年ほど、色づきは強くなるという傾向が3ヶ所のデータで共通して見られた(図1)。degree day法を用いた将来気候モデルにおける消雪日の推定結果と消雪日・展葉日の関係式を用いて、高山帯の紅葉の色づきにおける将来変化を全国スケールで予測したところ、最大で20%程度の色付きの弱まりが予測された。

山地帯におけるブナの黄葉は寒さの蓄積が多くなるほどに進んでいき、ピークを迎え、さらに寒さの蓄積が進むと色づきが弱くなっていくパターンを示していた。しかし暖かい場所ほど紅葉までに必要な寒さの蓄積量が少なく、気温が中程度の場所で色づきが強く、また寒冷な年においては色づきが強くなるなど、場所や年による違いも観測でき、これらを織り込んだ統計モデルの構築ができた。またマルチスペクトルドローンを用いた詳細なパターン解析では、植生指数とVARI値との間に負の相関が見られ、クロロフィル量が低いほど黄葉の色づきが強い傾向が見られた。また谷部よりも尾根部の方が色づきが強い傾向も見られたことから、この結果は個体による強光や乾燥のストレスによる違いが反映され、

ストレスがかかる尾根部などではその回避のために黄色色素であるカロテノイドの量が増えたことが示唆された。

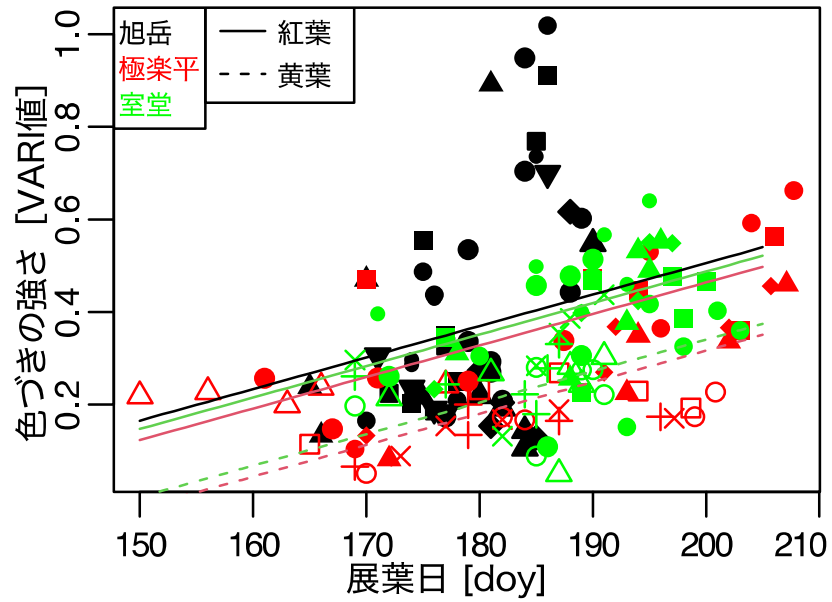


図1 高山帯3地点のカメラ観測個体における年当たりの色づきの強さと展葉日との関係直線は GLMM を用いて両者の関係を紅葉する種と黄葉する種を別にして予測した際の回帰直線をそれぞれ示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小出大
2. 発表標題 MODIS観測データを用いたブナの黄葉モデリング
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 小出大・小林誠
2. 発表標題 マルチスペクトルドローンを用いたブナの光合成と黄葉色づきの関係解析
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2022年～2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小林 誠  (Kobayashi Makoto)	里山科学館「森の学校」キヨロロ・研究員	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------