

## P6. 複数の衛星プロダクトを用いた森林火災後の植生回復のモニタリングと

### 土地被覆の変遷調査

Monitoring vegetation recovery and land cover transition after forest fires using multiple satellite products

○加藤善也（地圏総合コンサルタント）

Yoshiya Kato

#### 1. はじめに

森林火災後の植生回復において、火災による熱や灰がその回復を促進させるケースがあることが、近年の研究で報告<sup>1) 2) 3)</sup> されている。特に乾燥・高温に耐性のある樹種を主体とする常緑広葉樹林では、森林火災後の急速な植生の回復が確認されている。2019年から2020年にオーストラリアで発生した大規模森林火災（図-1）では、火災直後の多降雨に伴い、一部地域では植生が急速に回復したとの報告<sup>3)</sup> がある（図-2）。

なお植生回復を研究する方法として、実験林によるもの、火災事例の地上調査によるもの、衛星データを使用するもの等が挙げられるが、このうち衛星データによるアプローチは、広域での観測に適しており、広範囲の経時変化やモニタリングが可能な手法といえる。

本研究では、上記の大規模火災で延焼した範囲のうち常緑広葉樹林を対象として、火災後の土地被覆変遷と植生指数（以下、NDVI）の調査を経て、先行研究<sup>1) 3)</sup> で火災後の植生回復に影響すると指摘されている環境条件が、実際にどの程度回復に寄与したかを広域かつ複合的な要素を有する衛星データで時系列解析した。その結果、特定期間において火災後の NDVI の顕著な上昇が確認され、植生回復要因は火災からの経過年数とともに変化する傾向が示されたので、その成果を紹介する。

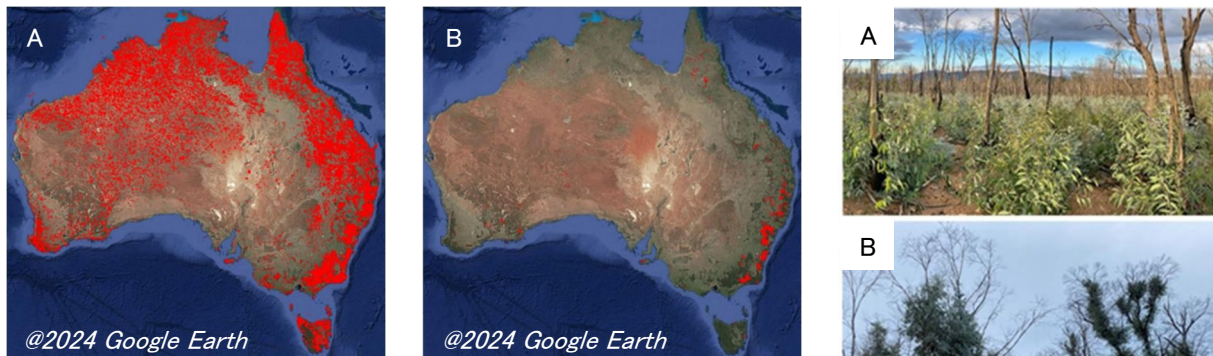


図-1 (左) オーストラリアでの火災地点（●表示）

(A) 2001～2023年までの火災範囲, (B) 2019年12月の火災範囲

MOD14A1より Google Earth Engine を用いて作成

図-2 (右) 火災後の環境の違いによるユーカリの成長の差異の様子

(A) 火災強度が大きく樹木の多くが枯れた場合でも、土壌水分が多いと地中の根や茎から発芽して短時間で繁茂する, (B) 火災強度が小さい場合は、燃え残りの樹木から発芽する。

Qin et al. (2022)<sup>3)</sup> より引用

#### 2. 調査の手順

##### 2.1対象の火災事例と解析手順

本研究での調査対象の火災事例は、2019年から2020年にかけてオーストラリア東部で生じた大規模森林火災を対象として、このうち最も火災面積の大きい2019年12月の常緑広葉樹林での火災範囲に対して解析を行った（図-1-B）。

手順として、まずは火災検知プロダクトで同期間の火災エリアを検出し、検出地点を土地被覆

モデル を用いて植生ごとに分類した。非火災エリアも同様に植生分類を行い、火災・非火災の双方のエリアの常緑広葉樹林を抽出した。なお常緑広葉樹林の抽出は、火災前の2018年時点での土地被覆データを使用した（図－3）。

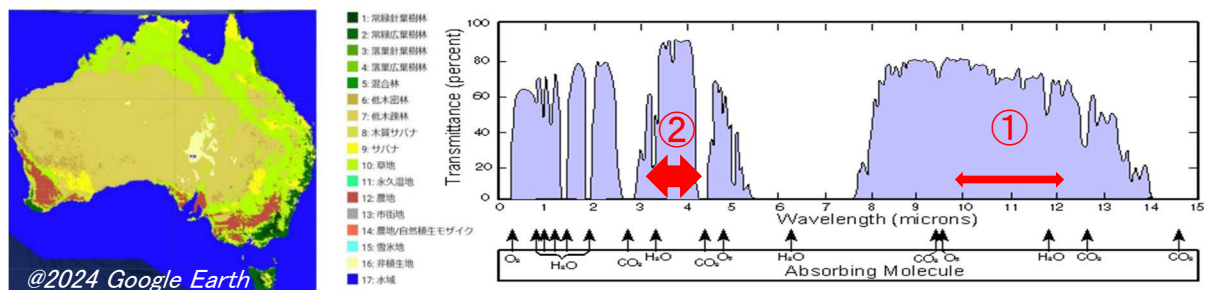
続いて植生の回復要因を調査した。各種先行研究<sup>1) 3)</sup>は、地表面温度と地中水分量が火災後の火災後の植生の回復に影響を及ぼしていると指摘している。本研究ではこの2指標に基づいて回復要因を調査した。なおいずれも解析期間は、火災直後の2020年1月から、本プロダクトデータの存在する最終月である2023年12月までの48か月間とした。

ここで、地表面温度と地中水分量の調査では、それぞれの指標が NDVI の上昇に及ぼした影響を推定するため、今回は地表面温度、地中水分量と NDVI に関して、火災エリアから全体エリアを引いた数値（以下、火全差）を月別に算出した。具体的には、火全差について「地表面温度-NDVI」関係と「地中水分量-NDVI」関係を解析して、相関係数、回帰直線と回帰式をそれぞれ算出した。なお本調査では同じ月の火災エリアと全体エリアの差を時系列解析することで、双方の差から火災後の NDVI 上昇への影響が大きい指標を推定して、さらに季節変動の影響を抑制しながらの植生回復解析をできると考えた。

## 2.2 使用衛星データ及びセンサ

本研究で使用した衛星データのうち、火災検知プロダクト「MOD14A1」、土地被覆モデル「MCD12Q1」、NDVI プロダクト「MOD13A1」と地表面温度プロダクト「MOD11A1」は、いずれもMODIS センサのプロダクトである（表－1）。MODIS は可視赤外域の放射計であり、各波長帯における放射輝度を計測することが可能で、地球環境モニタリングにおいて重要な役割を果たしている<sup>4)</sup>。このうちMOD14A1は温度異常を検知することで、火災を検出する。森林火災などの熱源からエネルギーが輻射されると、赤外放射のピーク波長が短波長側へ移動する（図－4）。この温度異常を利用して火災を検出する<sup>5)</sup>。

地中水分量は「NASA/GLDAS/V022/CLSM/G025/DA1D」を使用している。本プロダクトは、二衛星の距離を観測して地球重力場の変動を検出することで、地下水や土壌水分、また積雪や氷床などの水の動きを把握する<sup>6)</sup>（表－1）。



図－3 (左) オーストラリアでの2018年時点の植生分布図

MCD12Q1より Google Earth Engine を用いて作成

図－4 (右) 赤外線波長域の透過率推移

地表面での高温に伴い、赤外線のうち長波長側①よりも短波長側②の割合が増加する

竹内 (2008)<sup>5)</sup> より引用編集

表－1 本研究で用いた衛星データを構成するセンサ・プロダクト一覧

プロダクト名	MODIS (センサ)				NASA/GLDAS/V022/CLSM/G025/DA1D
	MOD14A1	MCD12Q1	MOD13A1	MOD11A1	
使用用途	火災検知	土地被覆	NDVI	地表面温度	地中水分量
空間解像度	1000m	500m	500m	1000m	25000m
時間解像度	16日	1年	16日	1日	1日

### 3. 結果

図5に NDVI 差と地表面温度差のデータを示す。地表面温度に関しては、火災1年目ではやや強い負の相関が認められ、地表面温度が高い地点ほど NDVI が低い傾向があるが、2年目この傾向が緩和している。一方で3年目にはやや強い正の相関に転じ、地表面温度が高い地点ほど NDVI も高くなる関係が観察された。なお4年目には負の相関に戻る事がわかる (図-5)。また、相関係数 R の統計的有意性を評価するために t 検定を実施した結果、2年目以外で有意差が確認された (表-2)。

図6に図5と同期間における NDVI 差と地中水分量差のデータを示す。地中水分量に関しては、火災1年目は中程度の正の相関が認められ、地中水分量が多い地点ほど NDVI が高い傾向が、その後2年目および3年目は正の相関が弱まり、地中水分量と植生回復との関連性はやや低下する傾向が示された。一方で4年目には再びやや強い正の相関が認められ、地中水分量が多い地点で植生回復が促進される傾向が確認された (図-6)。また、相関係数 R の統計的有意性を評価するために t 検定を実施した結果、2年目と3年目で有意差が確認されて、4年目は片側優位が確認された (表-3)。

### 4. 考察

#### 4.1 地表面温度と NDVI 推移の関連性

火災直後から2年目までは、地表面温度が高い地点ほど植生回復が抑制されている傾向が確認され、これは干ばつや火災による高温や灰発生の影響で、火災地点では全体的に温度が上昇していた可能性がある。2年目には若干温度依存性が低下したことからも、火災の影響が大きく残ったことによる地表面温度上昇とみられる。火災による高温と植生損失との関係性なので、負の相関となる。一方で、3年目には正の相関に転じて地表面温度上昇に伴う植生回復の傾向がみられた。ここからは地表面温度上昇による土壌活性効果と、植生回復効果に伴う熱蓄積増加現象<sup>7)</sup>の双方向の効果が発生したと考えられる。具体的には、葉群の繁茂や蒸散活動により局所的な熱環境が変化することであり、植生による日射吸収や地表熱の保持による土壌微生物の活性化、さらには昼間の放射収支の影響が強まり、この相互作用が生じていることが挙げられる。3年目

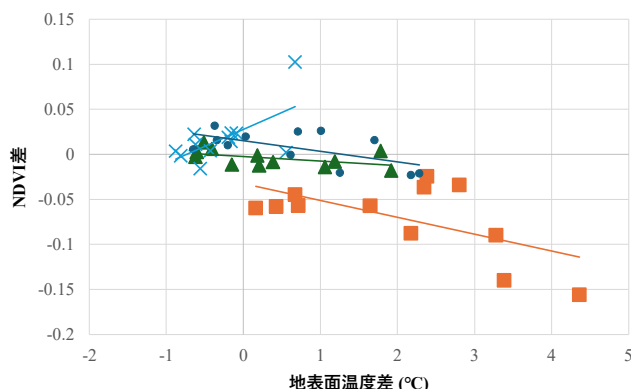


図-5 NDVI 差と地表面温度差の年単位月別データ  
■:火災1年目, ▲:2年目, ×:3年目, ●:4年目, 図中の線形は各年度全月の回帰直線を表す。  
MOD11A1および MOD13A1を使用

表-2 NDVI 差と地表面温度差の年単位月別データの経過

火災後年数	相関係数 R	t検定結果	回帰式
1 (2020年)	-0.602	優位	$y = -0.019x + 0.033$
2 (2021年)	-0.498	優位でない	$y = -0.005x - 0.002$
3 (2022年)	0.63	優位	$y = 0.038x + 0.028$
4 (2023年)	-0.616	優位	$y = -0.012x + 0.015$

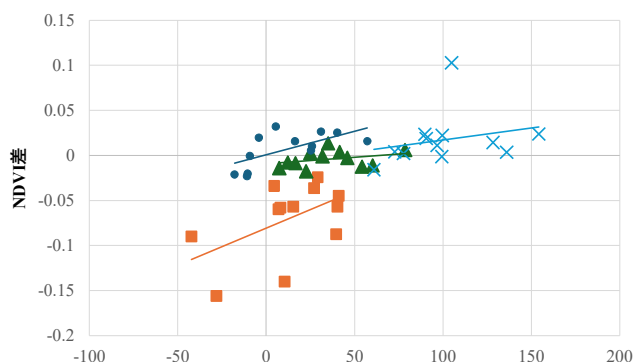


図-6 NDVI 差と地中水分量差の年単位月別データ  
■:火災1年目, ▲:2年目, ×:3年目, ●:4年目, 図中の線形は各年度全月の回帰直線を表す。  
GLDAS および MOD13A1を使用

表-3 NDVI 差と地中水分量差の年単位月別データの経過年ごとの相関係数, 検定結果と回帰式

火災後年数	相関係数 R	t検定結果	回帰式
1 (2020年)	0.522	優位でない	$y = 8E-04x - 0.081$
2 (2021年)	0.324	優位	$y = 1E-04x - 0.009$
3 (2022年)	0.244	優位	$y = 3E-04x - 0.009$
4 (2023年)	0.642	片側優位	$y = 5E-04x + 0.0008$

は一定程度の植生が再生して地表面温度の上昇が植生回復を促進する現象が確認できたとみられる。なお4年目に負の相関に転じている要因としては、一定程度の植生が再生すると、蒸散作用や遮蔽効果による冷却効果が顕在化して、再生に伴う温度上昇効果を上回るようになったためとみられる。

#### 4.2 地中水分量と NDVI 推移の関連性

火災後1年目は正の相関で、地中水分量の多い地点ほど植生回復が促進される傾向が確認できた。この要因として、火災直後は裸地・薄植生の環境下となるため、水分の供給量による再生効果大きい。そのため多降水による植生回復が生じたとみられる。これは先行研究<sup>3)</sup>とも一致する。次に2～3年目にかけては、相関係数が低下しているが、これは各地点の回復度の相違に伴う吸水量差が植生回復にも影響を及ぼして、常緑広葉樹林内での回復の個体差が生じた影響とみられる。一方で4年目には正の相関が強まり、地中水分量が多い地点で植生回復が促進される傾向が確認された。この要因としては、一定程度植生が再生すると水分需要が高まり、地中水分量が植生回復の条件として顕在化するためとみられる。ここで水分需要の高まりは、図-6からも推定でき、4年目は3年目と比較して地中水分量の火全差が減少していることがわかる。なお1年目で、有意差が確認されなかった要因としては、火災強度の相違による初期状態の植生が、常緑広葉樹林内で異なっていたためと推定される。

#### 5. まとめ

本研究は衛星データを用いて植生回復のモニタリングを行った。火災エリアのうち常緑広葉樹林の土地被覆で、回復要因調査を実施した。火災1年目から4年目までの48か月間において、地中水分量と地表面温度の植生回復への影響を調査した結果、各期間において植生回復の要因が異なる可能性が示された。主な結果としては、1年目など火災初期は地中水分量の増加が、その後3年目にかけては地表面温度の上昇が植生回復を促進している点などが挙げられる。その後、一定程度植生が再生して蒸散作用と吸水作用が顕在化する以降は、再び地中水分量が植生回復の促進要素になっていることが推定される。なお本研究では火災強度での分類を行っていないため、火災直後の土地被覆状態を考慮されていない。そのため成長の差異による誤差が生じている可能性がある。今回は常緑広葉樹林に限定した調査だが、これに限らず全植生土地被覆でも同様の解析を行うことで、本火災イベントの総合的な植生回復条件を把握できる可能性がある。

#### 文献

- 1) 森下ほか (2010) : アラスカのマリアナトウヒ林において森林火災が土壌呼吸速度におよぼす影響, 日本土壌肥料学会講演要旨集 56, 一般社団法人 日本土壌肥料学会, pp23-31.
- 2) 曹ほか (2000) : NOAA/AVHRR データによる中国大興安嶺森林大火災跡地の植生の回復診断, 日本生態学会誌 50.1, pp1-11.
- 3) Qin et al. (2022) : Large loss and rapid recovery of vegetation cover and aboveground biomass over forest areas in Australia during 2019-2020, Remote Sensing of Environment, 278, 113087.
- 4) Savtchenko et al. (2004) : Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC, Advances in Space Research, 34.4, pp710-714.
- 5) 竹内 (2008) : 宇宙からの森林火災の監視, 計測と制御, 47.12, pp1037-1040
- 6) 鈴木・松尾功二 (2020) : GRACE による陸水貯留量変動推定と水文科学分野での応用, 日本水文科学会誌, 50.2, pp39-53.
- 7) Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia, 143.1, pp1-10.