

SENTINEL-2A/B 衛星による自然教育園のナラ枯れ観測

永井 信^{1,*}・遠藤拓洋²・下田彰子²

¹国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境部門, ²国立科学博物館附属自然教育園

Nagai Shin¹, Takumi Endo², Akiko Shimoda²: Observations of Japanese oak wilt in the Institute for Nature Study by SENTINEL-2A/B satellites. *Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (53): 35–38, 2021.*

¹Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science

はじめに

日本では、カシノナガノキクイムシ (*Platypus quercivorus*) が媒介するナラ菌により生じるナラの集団枯損 (ブナ科樹木萎凋病, 以後「ナラ枯れ」と表記) が広域的・長期的に発生している (滝・尾崎, 2020)。ナラ枯れは、里山の広葉樹林における薪炭林の利用低下に伴う樹木の高齢化と大径化・気候変動を主な要因とされている (滝・尾崎, 2020)。大規模な森林生物被害は、生物多様性や生態系サービスに大きな影響を及ぼす (滝・尾崎, 2020)。このため、ナラ枯れの広域的・長期的なモニタリングは重要な課題である。

自然教育園が位置する東京都では、近年、ナラ枯れの被害が顕著に見られるようになった。他府県と比べて少ないが、令和2年の速報値として、ナラ枯れ被害量 (被害材積) は、1.1 千 m³ に及んだ (林野庁, 2021)。自然教育園では、2019年4月にナラ枯れが発見されて以降、同年11月時点において、大径木を中心に全体の17.8%のコナラ (*Quercus serrata*) 個体及び、スダジイ (*Castanopsis sieboldii*) の1個体に被害が確認された (下田ほか, 2020)。

ナラ枯れをモニタリングする手法として、現場における毎木調査 (赤石ほか, 2006; 林田ほか, 2013; 橋本ほか, 2017; 下田ほか, 2020; 西川ほか, 2020)・ドローンによるリモートセンシング観測 (澤田・藤原, 2019)・航空機によるリモートセンシング観測 (宇都ほか, 2010; 木下ほか, 2013)・衛星リモートセンシング観測 (木下

ほか, 2013; 谷ほか, 2014) がある。これらの手法には、それぞれ利点と欠点がある。現場における毎木調査やドローンによるリモートセンシング観測は、詳細な地上真値を得られる一方、多大な労力と時間を必要とするため広域的なモニタリングは困難である。航空機と商用衛星によるリモートセンシング観測は、広域的な解析・評価を低労力で可能とする一方、多大な費用を必要とする。

2015年と2017年に欧州宇宙機関より打ち上げられた SENTINEL-2A/B 衛星は、高頻度 (同一地点を5日ごと) かつ高空間分解能 (10m) で地表面の分光観測を可能とした (European Space Agency, 2021a)。観測データは無料で提供されている (CREODIAS, 2021)。過去の衛星観測では不可能であった高頻度・高空間分解能・無料という利点を活用し、自然教育園では、落葉樹やコナラの開葉と紅葉や、常緑樹であるスダジイの開葉/開花の植物季節観測の有用性が検証された (永井ほか, 2020)。本研究は、自然教育園を対象に、SENTINEL-2A/B 衛星によるナラ枯れ被害のモニタリングの可能性を調査した。

材料および方法

コナラの葉が樹冠を被覆している2018年9月5日・2019年9月10日・2020年9月9日 (快晴条件) を対象に、自然教育園 (北緯 35° 38'20"・東経 139° 43'11" 付近) を含む約 110km × 約 110km の範囲において、SENTINEL-

*E-mail: nagais@jamstec.go.jp

2A/B 衛星が観測した地表面反射率データを用いた。これらのデータは、「CREODIAS」(CREODIAS, 2021) からダウンロードし、「SNAP」(European Space Agency, 2021b) を用いて大気補正を行った。

可視赤 (バンド4)・可視緑 (バンド3)・可視青 (バンド2) の地表面反射率データにより RGB 合成画像を、可視赤 (バンド4) と近赤外 (バンド8) の地表面反射率データにより正規化植生指数 (NDVI) をそれぞれ求めた。NDVI は、式 (1) により定義される。落葉広葉樹の NDVI は、葉が無い期間では 0.4 程度 (ただし、林床に常緑のササが被覆する条件)、開葉期間に急激に増加、緑の葉が樹冠を被覆する期間では 0.75 ~ 0.9 程度、紅葉・落葉期間では徐々に減少を示す (Nagai *et al.*, 2010)。

$$NDVI = (\text{近赤外} - \text{可視赤}) / (\text{近赤外} + \text{可視赤}) \quad (1)$$

解析は、フリーでオープンソースの地理情報システムアプリケーション「QGIS 3.10」(QGIS, 2021) を用いて行なった。

本研究では地上真値として、2019 年 8 ~ 11 月に行ったナラ枯れの被害調査結果を用いた (下田ほか, 2020)。

この調査では、胸高周囲 30cm 以上の個体を対象に、樹木個体の生育状況・フラスの有無・フラスの形状・穿孔数が記録された (詳細は下田ほか, 2020 を参照せよ)。250 個体のうち、45 個体のナラ枯れ被害が確認された。

結果および考察

SENTINEL-2A/B 衛星の各観測日における RGB 合成画像と NDVI とコナラの分布を図 1 に示した。ナラ枯れ

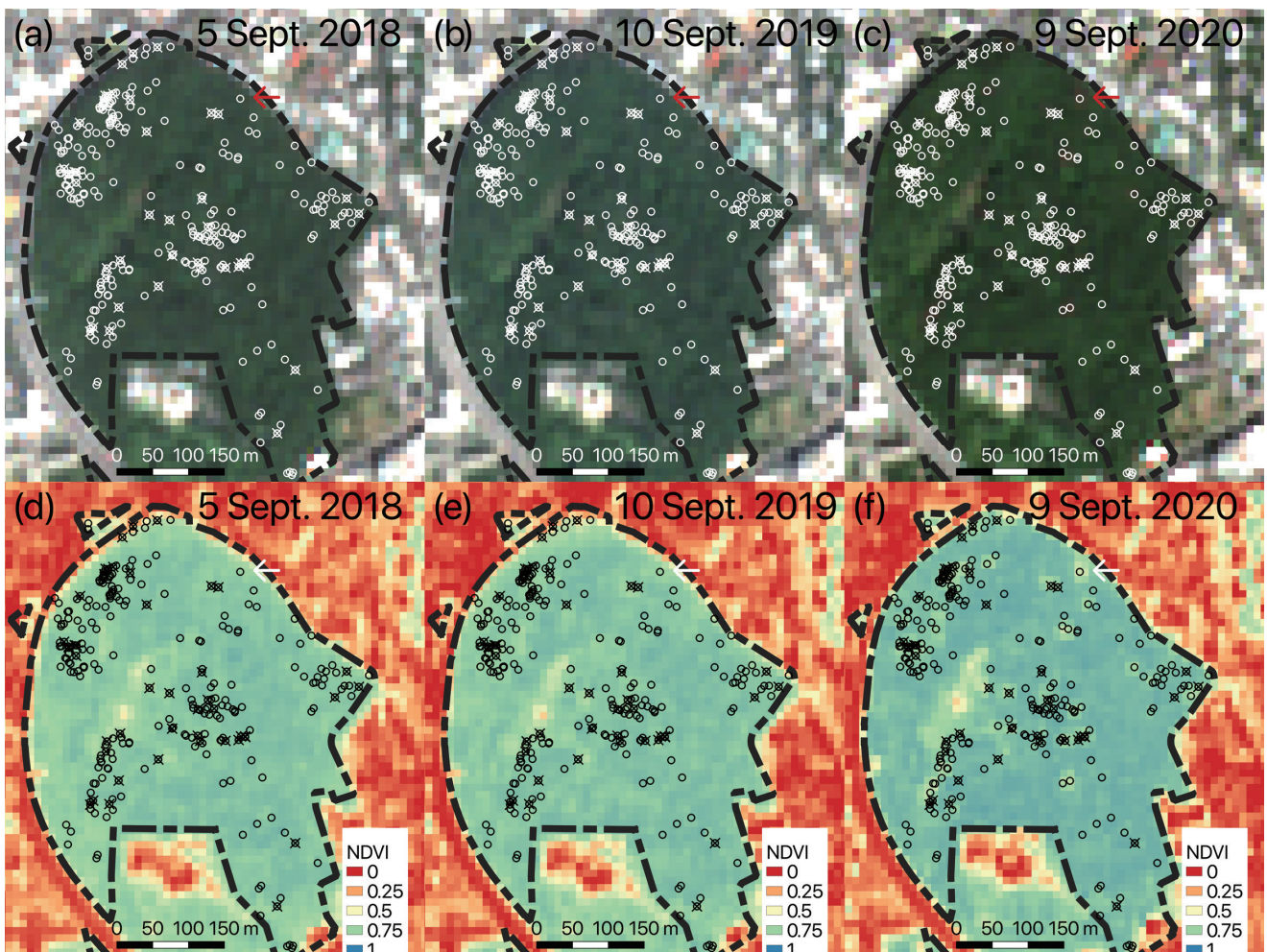


図 1. SENTINEL-2A/B 衛星の各観測日における RGB 合成画像と NDVI. 丸はコナラを、×印はナラ枯れ個体を、矢印は図 2 の写真のナラ枯れ個体をそれぞれ示す。

Fig. 1. RGB composite images and NDVI for each SENTINEL-2A/B satellites observed date. Circles, crosses, and arrow show oak tree individuals with Japanese oak wilt, and individual with Japanese oak wilt shown in the picture in Fig. 2, respectively.

個体の周辺（図1において○と×印が重なる地点）では、2018年と2019年は、深緑色（図1a, b）と0.7～0.8程度のNDVIを示した（図1d, e）。2020年は、茶色（図1c）と0.6～0.8程度のNDVIを示した（図1f）。これに対して、ナラ枯れ被害なしが確認された個体の周辺（図1において○印のみの地点）では、2018年・2019年・2020年ともに深緑色（図1a, b, c）と0.7～0.8程度のNDVIを示した（図1d, e, f）。RGB合成画像は、ナラ枯れにより枯死した茶色の葉と林床の様子を、NDVIは、

葉内の葉緑素の減少にともなう植生の活性の低下と林床の様子をそれぞれとらえたと考えられる。

自然植物園におけるコナラの大径木（樹冠は直径10～15m程度）は、SENTINEL-2A/B衛星データでは僅か1～2画素に相当する。また、幾何補正が施された地表反射率データであっても1画素程度の位置の誤差を含む。事実、図1において3年分のデータを比較すると、1画素程度の位置のズレが確認された。これらを原因として、SENTINEL-2A/B衛星データのみでの解析によりナ



図2. 図1の矢印で示したコナラ個体（上の○印）周辺におけるRGB合成画像の拡大図と現場写真（d：樹冠・e：幹）. 2020年12月23日に撮影した。

Fig. 2. REnlarged RGB composite images around the oak individual arrowed in Fig. 1 (top of circle) and on-site images (d: canopy, e: stem). Photos were taken on 23 December 2020.

ラ枯れ個体の空間分布を正確に地図化することは困難であると言える。

2020年に茶色とNDVIの減少を示した一方、2019年8～11月に行った調査では、ナラ枯れ被害が確認されなかった個体が複数見られた。これは、調査以降に生じたナラ枯れに起因すると推測される。そこで、図1の矢印で示される個体を対象に、2020年12月23日に現場検証を行った。その結果、図2の写真で示されるように、ナラ枯れ被害が確認された。この事実は、SENTINEL-2A/B衛星により観測されたRGB合成画像とNDVIの解析により、自然教育園や他地域において今後生じるナラ枯れを検出可能であることを示唆する。

まとめ

無料で入手が可能な高空間分解能・高頻度観測衛星：Sentinel2A/Bは、ナラ枯れによる植生変化の観測を可能とした。今後は、ナラ枯れにより生じた森林ギャップにおける植生遷移を、地上と衛星の統合的な観測により長期的にモニタリングすることが重要な課題である。この課題の遂行により、将来の気候変動下における自然教育園の植生変化の理解が深化すると期待される。

謝辞

科学研究費助成事業・基盤研究(C)「17K00542」(平成29年～令和2年度、代表：永井 信)の支援を受けた。

引用文献

赤石大輔・鎌田直人・中村浩二. 2006. コナラ・アベマキ二次林におけるカシノナガキクイムシの初期被害状況. 日林誌, (88) : p274-278.

宇都有昭・小杉幸夫・尾方俊成・小田川信哉. 2010. 可視/近赤外ハイパースペクトルデータに基づくナラ枯れ指標NWIに関する研究. 写真測量とリモートセンシング, (49) : p294-309.

CREODIAS, 2021. <https://creodias.eu>.

European Space Agency. 2021a. Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.

European Space Agency. 2021b. SNAP. <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>.

木下篤彦・金宗煥・神野忠広・細見温子・服部 保・岩間基巳・鈴木淳司. 2013. 六甲山系におけるナラ枯れの現状—被害把握におけるリモートセンシング活用への取り組み—. 砂防学会誌, (6) : p58-61.

QGIS. 2021. QGIS フリーでオープンソースの地理情報システム. <https://www.qgis.org/ja/site/>.

澤田佳宏・藤原道郎. 2019. 淡路島におけるナラ枯れの初認. 景観園芸研究, (20), p9-13.

下田彰子・高田恵一・宮田風樹・所 雅彦. 2020. 自然教育園におけるナラ枯れの発生. 自然教育園報告, (52) : p37-44.

滝久智・尾崎研一編. 2020. 森林と昆虫. 共立出版, p208.

谷宏・菌部礼・王秀峰. 2014. 虫害発生箇所抽出におけるALOSデータの活用可能性の検討. 環境情報科学術研究論文集, (28) : p293-296.

Nagai S, Nasahara KN, Muraoka H, Akiyama T, Tsuchida S (2010) Field experiments to test the use of the normalized difference vegetation index for phenology detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 : p152-160.

永井 信・遠藤拓洋・奈佐原顕郎. 2020. 高頻度・高空間分解能：SENTINEL-2A/B衛星による自然教育園の植物季節観測. 自然教育園報告, (52) : p19-24.

西川祥子・久保満佐子・尾崎嘉信. 2020. ナラ類集団枯損が発生したコナラ二次林における17年間のナラ類の生残と枯死. 日林誌, (102) : p1-6.

橋本佳延・石田弘明・黒田有寿茂・大谷雅人. 2017. 兵庫県三田市南公園(ブイブイの森)におけるナラ枯れの発生状況. 人と自然, (28) : p87-95.

林田光祐・大谷ゆき・大谷博彌. 2013. ミズナラ二次林におけるナラ枯れ前後の16年間の林分構造の推移. 山形大学紀要(農学), (16) : p297-304.

林野庁. 2021. ナラ枯れ被害. https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/naragare_R2.html.