

# 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

永井 信<sup>1,\*</sup>・遠藤拓洋<sup>2</sup>・奈佐原顕郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境部門, <sup>2</sup>国立科学博物館附属自然教育園, <sup>3</sup>筑波大学 生命環境系

**Shin Nagai<sup>1</sup>, Takumi Endo<sup>2</sup>, Kenlo Nishida Nasahara<sup>3</sup>: Phenology observations in Institute for Nature Study by fine spatio-temporal resolution satellite: SENTINEL-2A/B. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (52): 19–24, 2020.**

<sup>1</sup> Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science, <sup>3</sup> Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

## はじめに

植物季節（開花・開葉・紅葉・落葉等）の観測は、気候変動下における植物の機能（光合成や蒸発散）やサービス（供給・調整・基盤・文化的）・生物多様性の時空間分布の変動を高精度に評価するために重要である。衛星リモートセンシングは、植物季節を地点から全球に至る縦断的な空間スケールで毎日観測できる有用な手法である。過去の研究では、衛星観測で得られた植生指数の時系列の解析により、開葉や落葉の期日の時空間分布の変動の検出や、機能的な植生タイプ（落葉広葉樹林や常緑針葉樹林等）の分類が行われた（例えば、Tateishi *et al.*, 2011; Buitenwerf *et al.*, 2015）。

過去の研究で用いられた衛星センサー（米国の NOAA シリーズ衛星に搭載された AVHRR センサーや、米国の Terra と Aqua 衛星に搭載された MODIS センサー等）は、時間分解能は高い一方（毎日）、空間分解能が低い（8km や 500m 等）という欠点を持つ。このため、植生被覆が疎な都市内部や、土地利用土地被覆が複雑な都市近郊等、我々にとって身近な生態系を対象とした植物季節観測は困難であった。これに対して、時間分解能は低い一方（46 日や 16 日ごと）、空間分解能が高い（30m や 10m 等）衛星センサー（米国の Landsat シリーズ衛星に搭載された OLI センサーや、我が国の ALOS 衛星に搭載された AVNIR-2 センサー等）は、ある地点において、雲被覆がないデータを年数回程度しか得られない

という欠点を持つ。このため、1～2 週間で急激に生じる開葉や紅葉等、植物季節の時空間分布の変動を観測することは困難であった。

これらの問題点を解決する衛星センサーとして、2015 年と 2017 年に欧州宇宙機関より打ち上げられた SENTINEL-2A/B 衛星に搭載された MSI センサー（URL1）は、期待が持てる。2020 年 2 月現在、2 機の SENTINEL-2 衛星は、10m の空間分解能で地球上のある地点を 5 日ごとに観測している。本研究は、大都市の自然林である国立科学博物館附属自然教育園を対象に、SENTINEL-2A/B 衛星による植物季節観測の有用性を調査した。

## 材料および手法

2019 年 1 月 1 日から 12 月 31 日を対象に、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-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」(URL2) からダウンロードした。被雲率が 20% より高いデータは除外した。その結果、1 月 3 日・3 月 9 日・3 月 14 日・4 月 3 日・4 月 13 日・4 月 18 日・5 月 8 日・5 月 23 日・8 月 6 日・10 月 30 日・11 月 29 日・12 月 14 日の計 12 日のデータを得た。このうち 4 月 18 日と 8 月 6 日は、自然教育園の上空に雲が存在したため、

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

解析対象から除外した。図1に自然教育園のおおよその植生分布を示した（自然教育園リーフレット，URL3）。

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を用いて，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を用いて，式（1）により定義される正規化植生指数（NDVI）をそれぞれ求めた。

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

NDVIは，植生が多いほど近赤外が高く，可視赤が低い値を示す特徴に基づいた指標であり，植生が多いほど大きな値を示す。これらの解析は，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 3.4」(URL4)を用いて行った。衛星観測データの気象補正は行わなかった。

衛星観測データの地上真値として，自然教育園より1週間ごとに更新・公開されている，現場調査により得られた植物の開花・紅葉・結実の「見ごろ情報」を用いた（URL5）。加えて，自然教育園において，3月12日・4月29日・5月16日・12月20日に植物季節の目視観察と写真撮影を行った。GPS機能付きデジタルカメラ：リコー・WG-5 GPSを用いた。

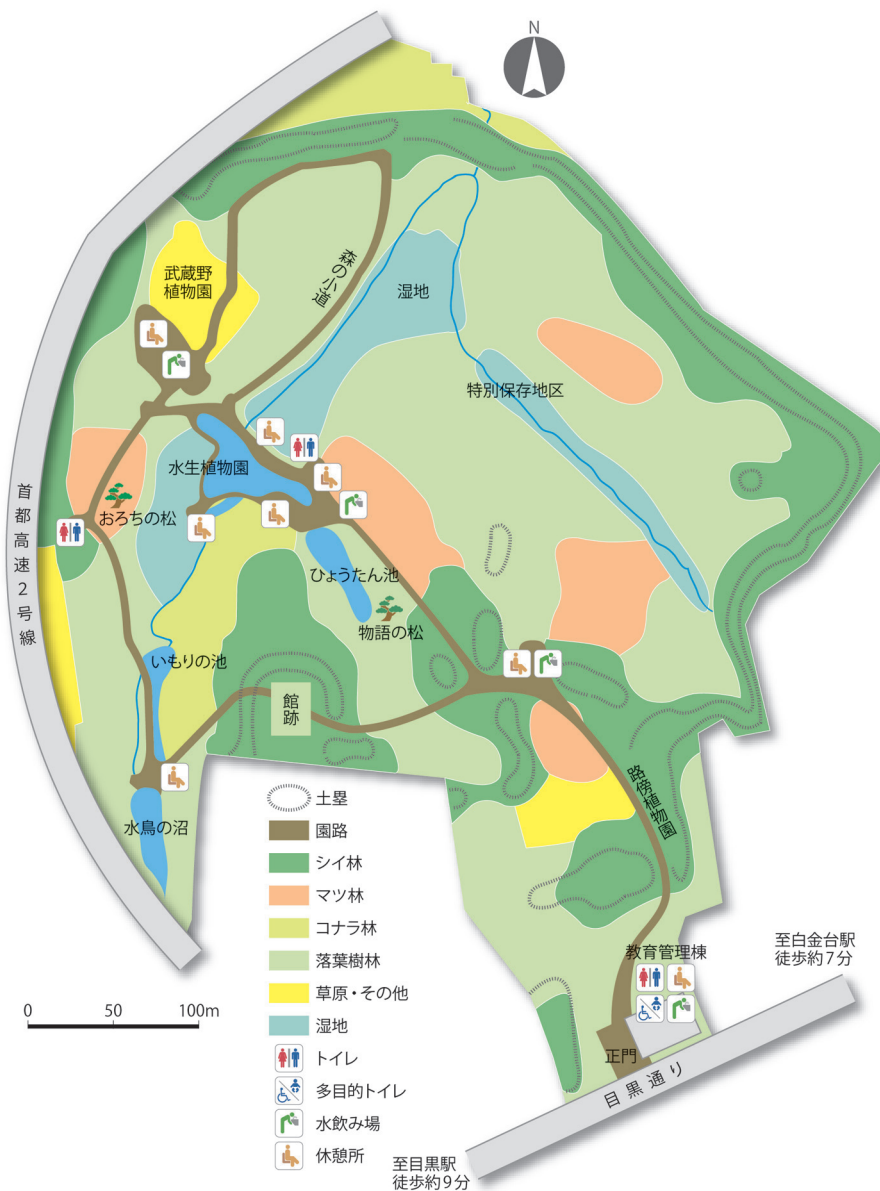


図1. 自然教育園におけるおおよその植生分布（自然教育園園内リーフレット，URL3）。

Fig. 1. Approximately geographical distribution of vegetation in Institute for Nature Study (Leaflet of Institute for Nature Study, URL3).

## 結果および考察

衛星による各観測日における RGB 合成画像（3月14日を除く）と NDVI を図2に、これらの観測日に最も近い日に現場調査により得られた花の見ごろ情報および、紅葉の見ごろ情報を表1と2にそれぞれ示した。

1月と3月において、シイ（おもにスダジイ *Castanopsis sieboldii*）が多く分布するエリア（図1参

照）では NDVI は 0.5 ～ 0.75 程度を、落葉樹やコナラ（*Quercus serrata*）が多く分布するエリア（図1参照）では NDVI は 0.25 程度を示した（図2）。4月から5月にかけて NDVI は、園内全体で 0.75 程度まで増加した（図2）。この変化は、落葉樹やコナラの開葉に対応した。落葉樹の花の見ごろは、3月から5月に分布する一方、特に4月に多くみられた。これに対して、常緑樹の花の見ごろは、特に3月と5月に多くみられた（表1）。

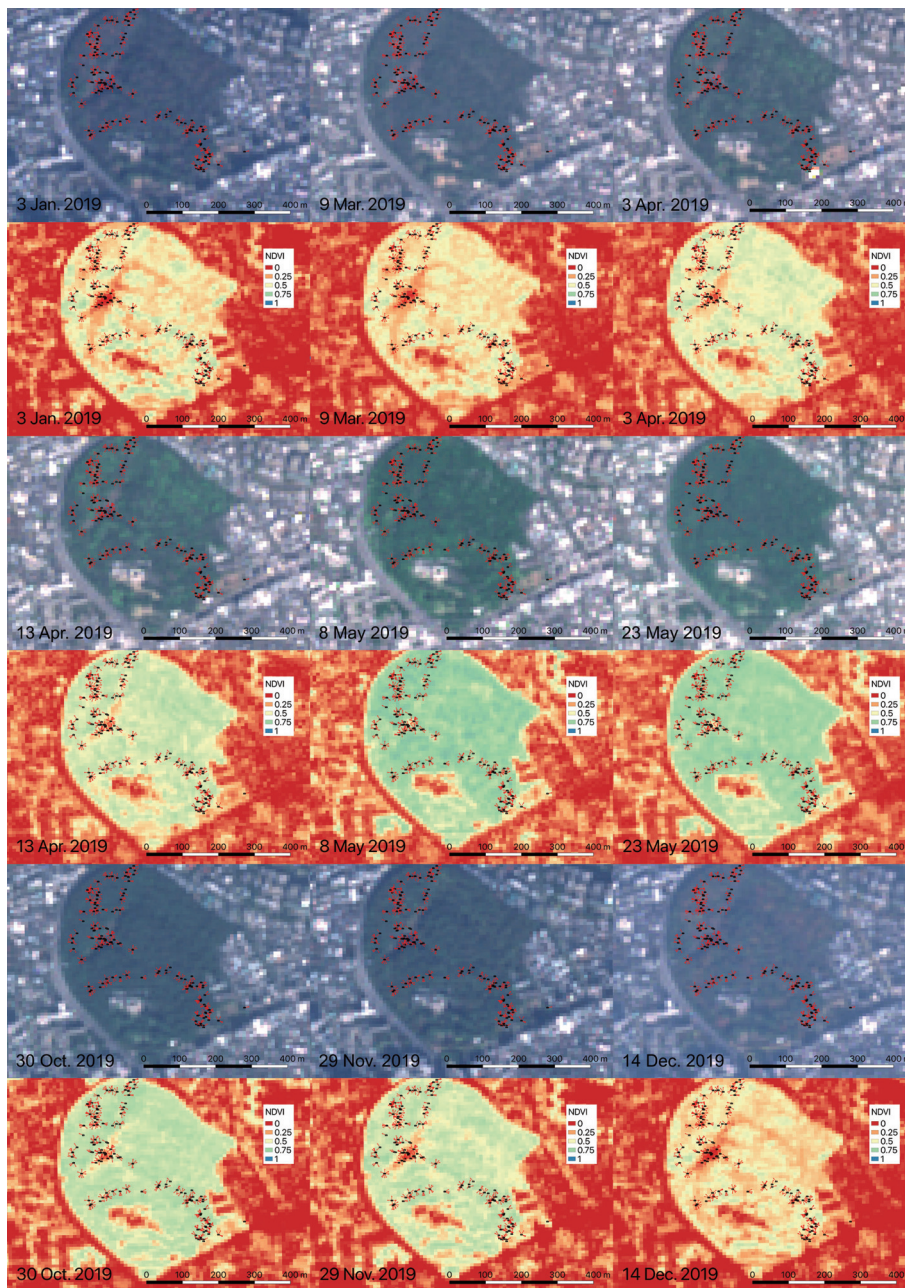


図2. SENTINEL-2A/B 衛星の各観測日における RGB 合成画像と NDVI のまとめ。負の NDVI は、赤で示した。黒点と赤矢印は、2019年5月16日の撮影した写真画像の位置と撮影方向を示す。

Fig. 2. Summary of RGB composite image and NDVI for each SENTINEL-2A/B satellites observed date. Negative NDVI values were shown by red. The black dot and red arrow show the location and direction of photographs taken on 16 May 2019, respectively.

表 1. SENTINEL-2A/B 衛星の各観測日に対して、それぞれ最も近い日に現場調査により得られた「花見ごろ」情報のまとめ。  
Table. 1. Summary of in-situ observed flowering information on the closest date of each SENTINEL-2A/B satellites observation.

衛星観測	見ごろ情報	花見ごろ (落葉樹)	花見ごろ (常緑樹)
3/9	3/7	ウグイスカグラ・ウメ・マンサク・ヤマウグイスカグラ	アセビ・シキミ・シロヤブツバキ・モクレイシ・ヒイラギナンテン・ヤブツバキ
3/14	3/14	アブラチャン・イヌシデ・ウグイスカグラ・キブシ・ツノハシバミ・マンサク・ヤマウグイスカグラ	アセビ・シキミ・シロヤブツバキ・ヒイラギナンテン・モクレイシ・ヤブツバキ
4/3	4/4	アケビ・イロハモミジ・オオシマザクラ・クサイチゴ・クヌギ・コクサギ・サルトリイバラ・ジャヤナギ・ソメイヨシノ・ヤマザクラ・ヤマブキ・ミツバアケビ	アオキ
4/13	4/11	アケビ・イロハモミジ・エノキ・クサイチゴ・クヌギ・コクサギ・サルトリイバラ・ジャヤナギ・ソメイヨシノ・ナツグミ・ニワトコ・ヒメカジイチゴ・ミツバアケビ・ヤマグワ・ヤマブキ	アオキ
4/18	4/18	アケビ・イロハモミジ・ウワミズザクラ・クサイチゴ・コナラ・ヒメカジイチゴ・サルトリイバラ・ツクバネウツギ・トウゴクミツバツツジ・ナツグミ・ミツデカエデ・ヤマツツジ・ヤマブキ	アオキ
5/8	5/9	エゴノキ・コアジサイ・コゴメウツギ・ジャケツイバラ・ノイバラ・ホオノキ・マルバウツギ・ミズキ	シュロ・スダジイ・タブノキ・トベラ
5/23	5/23	アワブキ・イイギリ・イボタノキ・ウツギ・キハダ・コアジサイ・ハマクサギ・マユミ	スダジイ・スイカズラ・テイカカズラ
10/30	10/31	-	サザンカ・チャノキ・ナワシログミ
11/29	11/28	コウヤボウキ	サザンカ・ヒイラギ・ヤツデ
12/14	12/12	-	サザンカ・ヒイラギ・ヤツデ

表 2. SENTINEL-2A/B 衛星の各観測日に対して、それぞれ最も近い日に現場調査により得られた「紅葉見ごろ」情報のまとめ。

Table. 2. Summary of in-situ observed leaf colouring information on the closest date of each SENTINEL-2A/B satellites observation.

衛星観測	見ごろ情報	一部黄葉・紅葉	黄葉・紅葉見ごろ	黄葉・紅葉そろそろ終わり
1/3	1/5	-	マルバウツギ	-
11/29	11/28	イロハモミジ・ハゼノキ・ミツカエデ・ムクノキ	アブラチャン・アカメガシワ・ウワミズザクラ・エノキ・カツラ・コマユミ・シロモジ・ホソバイヌビワ・マンサク・ミズキ・ムクロジ・ヤマコウバシ	-
12/14	12/12	-	アカシデ・アブラチャン・アワブキ・イロハモミジ・カマツカ・カラスザンショウ・コゴメウツギ・コナラ・クヌギ・クマシデ・コクサギ・ツルウメモドキ・サワシバ・サンショウ・チドリノキ・ネジキ・ハマクサギ・ミズキ・ムクノキ・ムクロジ・ヤマブキ・ヤマボウシ	イヌシデ・ハゼノキ・マユミ

RGB 合成画像は、落葉樹やコナラが多く分布するエリアでは4月に明るい緑を、シイが多く分布するエリアでは5月に明るい緑を示した(図2)。これらの色の変化は、落葉樹やコナラの開葉とスダジイの開葉や開花に対応した(表1)。とりわけ、スダジイは、黄緑色の新葉とクリーム色の花を樹冠一面に付ける(図3)。この植物季節の特徴は、開葉と開花の期間に観測されたRGB合成画像の解析により、スダジイを判別できる可能性を示唆する。しかしながら、空間分解能が10m(1画素あたり10m×10mの範囲に存在する植生の平均をとらえる)であるSENTINEL-2A/B衛星では、個体を区別した観測が困難である。空間分解能がさらに高い、例えば

0.46m(パンクロマティック)であるGEOEye-1衛星に搭載されたGISセンサー(URL6)により観測されたデータの解析と検証が今後必要である。

12月において、落葉樹やコナラが多く分布するエリアでは、RGB合成画像は赤色に変化し、NDVIは0.25程度に減少した。これらの変化は、落葉樹やコナラの紅葉に対応した(表2, 図4)。紅葉の見ごろの期日は、樹種ごとに大きな違いが見られた(表2)。このため、各樹種の紅葉の見ごろの時期にそれぞれ観測された衛星データの解析により、対象となる樹種の判別が理論的には可能であると考えられる。しかしながら、自然教育園のように樹木の多様性が高い森林では、超高空間分解能を



図3. スダジイ (*Castanopsis sieboldii*) の開葉と開花の様子 (2019年5月16日撮影).  
Fig. 3. Picture of leaf flush and flowering of chinquapin (*Castanopsis sieboldii*; taken on 16 May 2019).



図4. 紅葉の様子 (2019年12月20日撮影).  
Fig. 4. Picture of leaf colouring (taken on 20 December 2019).

持つ衛星観測データであっても、植生の不均一性に起因した不確実性を多く含むと考えられる。少なくとも、ドローン（無人航空機）による定期的な空中写真の撮影（Klosterman *et al.*, 2018）等を組み合わせた解析と検証が必要である。

## まとめ

高頻度（5日ごと）・高空間分解能（10m）なセンサーを持つ SENTINEL-2A/B 衛星は、自然教育園のような我々にとって身近な生態系の植物季節を詳細に観測可能とした。自然教育園等において長期的に行われている現場調査により得られた植物季節情報や、ソーシャルネットワークサービス（SNS：ツイッター・Facebook・インスタグラム等）やウェブサイト上において市民により発信された植物季節情報、さらには、安価なタイムラプスカメラや防犯カメラ等による植物の多地点・定点撮影を組み合わせた解析・評価により、衛星観測データの生態学的な理解がさらに深まると考えられる。

## 謝辞

「見ごろ情報」の提供を目的とした定期的な観察を行っている、吉野由美子氏に感謝する。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

- Buitenwerf, R., Rose, L. & Higgins, S. I. 2015. Three decades of multi-dimensional change in global leaf phenology. *Nature Climate Change*, 5: 364-368.
- Klosterman, S., Melaas, E., Wang, J. A., Martinez, A., Frederick, S., O'Keefe, J., Orwig, D. A., Wang, Z., Sun, Q., Schaaf, C., Friedl, M. & Richardson, A. D. 2018. Fine-scale perspectives on landscape phenology from unmanned aerial vehicle (UAV) photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 397-407.
- Tateishi, R., Bayaer, U., et al. 2011. Production of global land cover data - GLCNMO. *International Journal of Digital Earth*, 4 (1) : 22-49.
- URL1: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- URL2: <https://creodias.eu>
- URL3: [http://www.ins.kahaku.go.jp/download/meguro\\_pamph.pdf](http://www.ins.kahaku.go.jp/download/meguro_pamph.pdf)
- URL4: <https://www.qgis.org/ja/site/>
- URL5: <http://www.ins.kahaku.go.jp>
- URL6: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1/>
- (2020年3月9日アクセス)