

衛星観測によるブナ科の常緑性樹種の判別の可能性

永井 信^{1,*}・遠藤拓洋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: A possibility of species discrimination of evergreen Fagaceae trees by satellite observations. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (56): 57–62, 2024.

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

はじめに

気候変動と人間活動による生態系の機能やサービス・生物多様性の影響を評価するため、陸域生物の生息地である森林の多様性（種の判別）とその時空間分布の変動（遷移）の高精度かつ広域的なモニタリングが求められている。ドローン・航空機・衛星リモートセンシングにより森林を構成する樹種を判別するためには、植物季節（開花・開葉・紅葉など）の様式や期日および、樹形など形態的な特徴の検出が有用である（Shin *et al.*, 2023）。落葉樹と比べて植物季節が不明瞭であるボルネオの熱帯多雨林であっても、数年ごとに生じる一斉開花現象を衛星観測することにより一部の樹種を広域的に地図化できることが報告されている（Miura *et al.*, 2023）。けれども、落葉樹と比べて、リモートセンシング観測による常緑広葉樹の種判別の報告は、かなり限定的である（永井ほか, 2020；篠原・奈佐原, 2022；Shin *et al.*, 2023）。この問題を解決するため、著者らは、衛星観測により判別可能な常緑広葉樹の種の特定を目的として、植物季節に関する地上真値を開葉・開花期に定期的に取得している。本稿では、自然教育園および、東京大学大学院理学系研究科附属植物園（以後、小石川植物園と表記）において実施した観測研究について報告する。

材料および方法

自然教育園（35° 38'19"N, 139° 43'11"E）および小石川植物園（35° 43'11"N, 139° 44'40"E）において、常緑広葉樹の開葉・開花期にあたる2021年～2023年の4月～5月に、目視観察と写真撮影を毎週行った。対象となる樹木は、自然教育園では26種、小石川植物園では60種である。ただし本稿では、説明を容易化するため、ブナ科の樹木の結果のみを報告する。自然教育園と小石川植物園に生育するブナ科の常緑性の樹木は、8種と10種である（表1）。自然教育園では、タイムラプスカメラによりツブラジイ（*Castanopsis cuspidate*）とマテバシイ（*Lithocarpus edulis*）の様子を日中（6時～18時）1時間ごとに撮影した。加えて、ツブラジイとスタジイ（*Castanopsis sieboldii*）の満開期には、360度方位デジタルカメラにより樹冠の様子を撮影した（詳細は、永井・遠藤, 2023を参照）。

日本に分布するブナ科の樹木は、ブナ属（ブナ [*Fagus crenata*]・イヌブナ [*Fagus japonica*]：落葉性）・クリ属（クリ [*Castanea crenata*]：落葉性）・コナラ亜属（コナラ [*Quercus serrata*]・ミズナラ [*Quercus crispula*]・アベマキ [*Quercus variabilis*]・クヌギ [*Quercus acutissima*]・カシワ [*Quercus dentata*]・ナラガシワ [*Quercus aliena*]：落葉性および、ウバメガシ [*Quercus phillyreoides*]：常緑性）・常緑性のアカガシ属8種（表1を参照）・常緑性のシイ属2種（表1を参照）・マテバシイ属2種（表1を参照）である。

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

表 1. 日本に分布するブナ科の常緑性樹木の開花季節の特徴.
Table 1. Characteristic of flowering phenology of evergreen Fagaceae trees in Japan.

属		種	目視観測の有無		開花季節の特徴		
			自然 教育園	小石川 植物園	時期	花の方向	
コナラ属	コナラ亜属	ウバメガシ (<i>Quercus phillyreoides</i>)	無	有	4月中旬	下向き	
	アカガシ属	アカガシ (<i>Quercus acuta</i>)	有	有	4月中旬～ 5月中旬	下向き	
		ツクバネガシ (<i>Quercus sessilifolia</i>)	有	有	5月 ¹⁾	下向き	
		ウラジロガシ (<i>Quercus salicina</i>)	有	無	5月 ¹⁾	下向き	
		シラカシ (<i>Quercus myrsinifolia</i>)	有	有	4月中旬～ 下旬	下向き	
		アラカシ (<i>Quercus glauca</i>)	有	無	4～5月 ¹⁾	下向き	
		ハナカガシ (<i>Quercus hondae</i>)	無	無	4～5月 ²⁾	下向き	
		イチイガシ (<i>Quercus gilva</i>)	無	無	4～5月 ²⁾	下向き	
		オキナワウラジロガシ (<i>Quercus miyagii</i>)	無	無	2月 ³⁾	下向き	
		シイ属	スダジイ (<i>Castanopsis sieboldii</i>)	有	有	4月下旬～ 5月下旬	上向き
			ツブラジイ (<i>Castanopsis cuspidate</i>)	有	有	4月中旬～ 5月上旬	上向き
			マテバシイ属	マテバシイ (<i>Lithocarpus edulis</i>)	有	有	6月 ¹⁾
			シリブカガシ (<i>Lithocarpus glaber</i>)	無	有	9月 ⁴⁾	上向き

- ¹⁾ 2023 年は開花を確認できなかったため、茂木ほか (2017) を参照。
²⁾ 自然教育園または小石川植物園において分布しない、もしくは目視観測しなかったため、茂木ほか (2017) を参照。
³⁾ 自然教育園または小石川植物園において分布しないため、
<https://www.pref.okinawa.jp/shigoto/kenkyu/1010919/1021637/1003010/1003029.html> を参照。
⁴⁾ 観測記録がないため、茂木ほか (2017) を参照。新宿御苑 (35°41'06"N 139°42'36"E) では、
2023 年 10 月 6 日に開花したことが報告されている (<https://fng.or.jp/shinjuku/2023/10/06/20231006-3/>)。

結果と考察

ブナ科の常緑性樹木の開花季節の特徴および、目視観測による 2023 年の植物季節の記録を表 1 と表 2 にそれぞれ示した。ただし、自然教育園と小石川植物園に分布しない、もしくは目視観測をしなかった種について

は、植物図鑑を参照した。開花が明確に観測された全ての種について、新葉の開葉後に開花がみられた。開花季節の特徴は、次の 2 つに区別された。(1) 樹冠において下向きに雄花序が垂れ下がる。その結果、新葉よりも下部に花が分布する：コナラ属の 9 種 (ウバメガシ・アカガシ・ツクバネガシ・ウラジロガシ・シラカ

表 2. ブナ科の常緑性樹木を対象とした目視観察による 2023 年の植物季節の記録.
 Table 2. Phenological records of evergreen Fagaceae trees in 2023 by visual inspection.

樹種	場所	3/30	3/31	4/6	4/7	4/13	4/14
ウバメガシ	小石川植物園				開葉始	開葉中	
アカガシ	自然教育園						
ツクバネガシ	小石川植物園			開葉中			開葉中
	自然教育園				開葉始	開葉中	
ウラジロガシ	小石川植物園						
シラカシ	自然教育園						開葉中
	自然教育園					開葉始・ 開花始	
	小石川植物園						
アラカシ	自然教育園	開葉中		開葉中			
スダジイ	自然教育園	開葉始		開葉			開葉中
	小石川植物園					開葉始	
ツブラジイ	自然教育園						開葉中・ 花芽たく さん
	小石川植物園					開葉中	
マテバシイ	自然教育園						
	小石川植物園						
シリブカガシ	小石川植物園						

樹種	場所	4/21	4/22	4/28	4/29	5/5	5/6
ウバメガシ	小石川植物園	開花		開花中			
アカガシ	自然教育園					開葉始	
	小石川植物園	開葉中・ 開花中		開葉中・ 開花中			開葉中・ 開花中
ツクバネガシ	自然教育園						
	小石川植物園	開葉中					
ウラジロガシ	自然教育園		開葉中				
シラカシ	自然教育園		開葉中・ 開花中		開花中 (終近い)		
	小石川植物園	開葉中・ 開花中		開花中			花終わり
アラカシ	自然教育園						
スダジイ	自然教育園		開葉中		開葉中・ 開花	開花始め ～満開	
	小石川植物園	開葉中・花 芽たくさん		花芽たくさ ん			開花中
ツブラジイ	自然教育園		開葉中・ 満開		開葉中・ 満開(散り 途中)	花終わり	
	小石川植物園	開葉中・ 満開		開葉中・ 花終わり			
マテバシイ	自然教育園		開葉始		開葉中	開葉中	
	小石川植物園			開葉中			開葉中
シリブカガシ	小石川植物園						開葉始

樹種	場所	5/10	5/18	5/19	5/25	5/27	6/15	6/16
ウバメガシ	小石川植物園							
アカガシ	自然教育園	開葉中				開葉中		
	小石川植物園	開花中		花終わり				
ツクバネガシ	自然教育園							
	小石川植物園							
ウラジロガシ	自然教育園		開花？ 花かなり 少ない					
シラカシ	自然教育園							
	小石川植物園							
アラカシ	自然教育園							
スダジイ	自然教育園	開花中， 全体的に 少ない	開花中，満 開 個 体 あ り，全体的 に少ない， 花 終 わ り 個体あり		花終わり			
	小石川植物園	満開		花終わり				
ツブラジイ	自然教育園							
	小石川植物園			開葉中				
マテバシイ	自然教育園	開葉中	開葉中		開葉中			
	小石川植物園	開葉中		開葉中		開葉中・ 花芽たく さん		
シリブカガシ	小石川植物園	開葉中		開葉中		開葉中		

シ・アラカシ・ハナカガシ・イチイガシ・オキナワウラジロガシ)。(2) 樹冠において上向きに雄花序が被覆する。その結果，新葉よりも上部に花が分布する：シイ属の2種（スダジイ・ツブラジイ）とマテバシイ属の2種（マテバシイ・シリブカガシ）。上述（1）は風媒花，上述（2）は虫媒花であった。開花時期の特徴は，次の4つに区別された。①2月：オキナワウラジロガシ，②4月中旬から5月下旬：ほとんどの種，③6月：マテバシイ，④9月：シリブカガシ。このうち，ツブラジイと比べてスダジイの満開時期は，約2～4週間遅かった。アカガシ・シラカシ・スダジイ・ツブラジイの開花の様子を図1に示した。

以上の結果は，地表面をとらえる衛星観測は，樹冠において上向きに花が被覆するシイ属の2種とマテバシイ属の2種の判別を可能とし，樹冠において下向きに花が垂れ下がるコナラ属の9種の判別を不可能とする可能性を示唆する。また，スダジイ・ツブラジイ・マテバシイ・シリブカガシの開花時期の違いは，衛星観測による

樹種判別にとって有用な情報を与えると言える。これらの可能性は，衛星観測によるスダジイ・ツブラジイ・マテバシイの判別の可能性を示した既往研究（永井ほか，2020；篠原・奈佐原，2022；Shin *et al.*，2023）によって支持される。一方，ブナ科の常緑性樹木は，東京付近では4月から5月にかけて新葉を開葉し（永井・遠藤，2023），樹冠の色が深緑色から黄緑色へと変化する。この変化を衛星観測により検出することは可能であるが，新葉の開葉の様式や期日には明確な樹種間差がみられない（永井・遠藤，2023；表2）。このため，新葉の開葉は樹種判別にとって有用な情報を与えないと言える。衛星観測による常緑広葉樹の種判別の可能性についての概念を図2に示した。

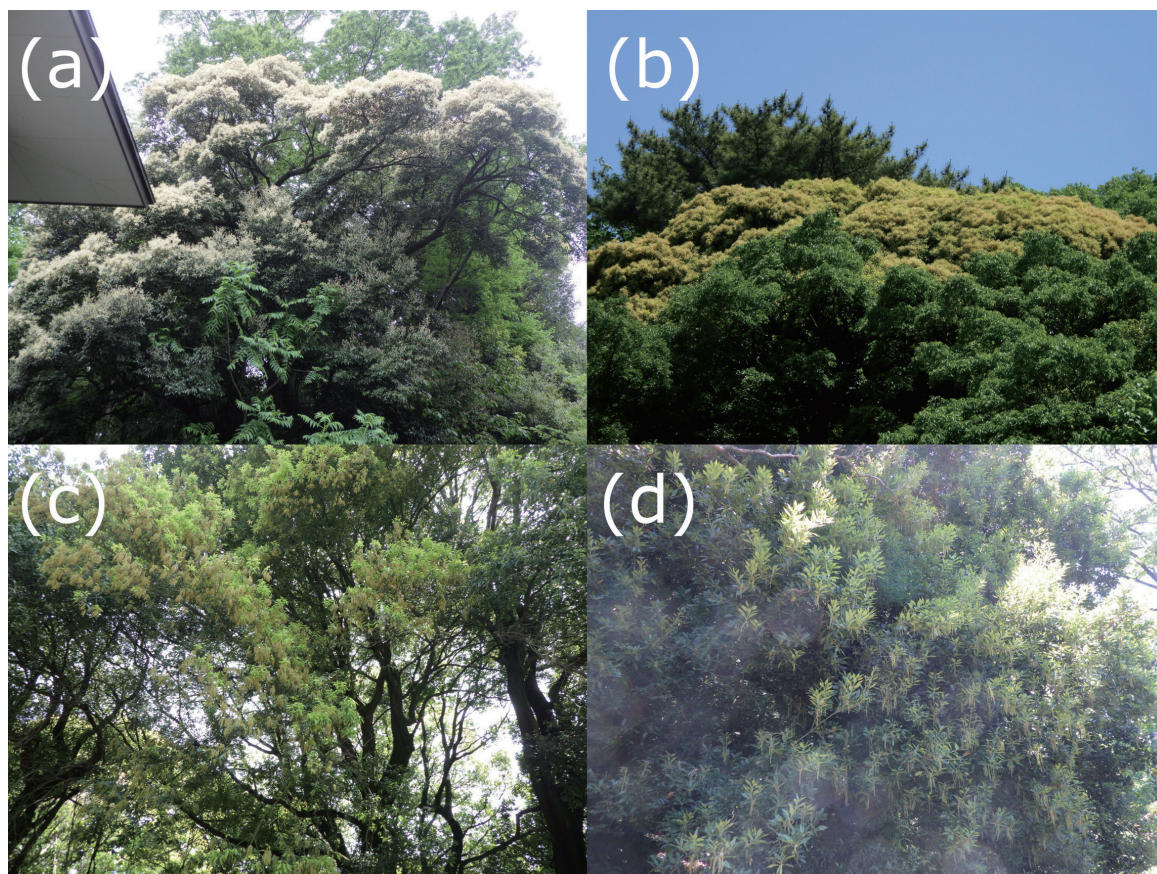


図 1. (a) ツブラジイ (2023 年 4 月 22 日, 自然教育園において撮影)・(b) スダジイ (同年 5 月 10 日, 小石川植物園において撮影)・(c) シラカシ (同年 4 月 21 日, 小石川植物園において撮影)・(d) アカガシの開花の様子 (同年 5 月 10 日, 小石川植物園において撮影)

Fig. 1. Flowering images of (a) *C. cuspidata* (taken on 22 April 2023 in Institute for Nature Study), (b) *C. sieboldii* (taken on 10 May 2023 in Koishikawa Botanical Garden), (c) *Q. myrsinifolia* (taken on 21 April 2023 in Koishikawa Botanical Garden), and (d) *Q. acuta* (taken on 10 May 2023 in Koishikawa Botanical Garden).

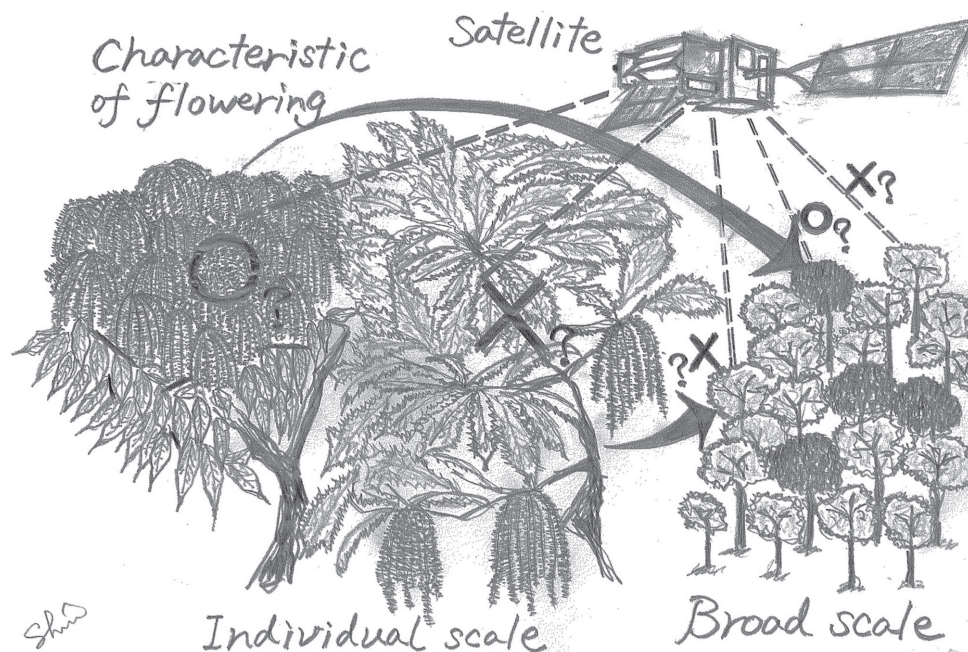


図 2. 衛星観測による常緑広葉樹の種判別の可能性についての概念。科研費 (22K12352) の申請書より転載。

Fig. 2. Concept of the possibility of species discrimination of evergreen broad-leaved trees by satellite observations. Image reproduced from a proposal of KAKENHI (22K12352).

ま と め

自然教育園と小石川植物園における，常緑広葉樹の開葉・開花期を対象とした定期的な観測により，衛星観測により判別が可能なブナ科の常緑性樹種を特定できた。今後は，ブナ科以外を対象とした同様な検証が必要である。

謝 辞

科学研究費助成事業・基盤研究（C）「17K00542」（平成29年～令和3年度，代表：永井 信）および「22K12352」（令和4年～令和7年度，代表：永井 信）の支援を受けた。自然教育園および小石川植物園の関係者諸氏に対して感謝の意を表する。

引用文献

- Miura T, Tokumoto Y, Shin N, Shimizu KK, Pungga RAS, Ichie T. 2023. Utility of commercial high-resolution satellite imagery for monitoring general flowering in Sarawak, Borneo. *Ecological Research*, 38 : 386–402. <https://doi:10.1111/1440-1703.12382>.
- 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) : 19–24.
- 永井 信・遠藤拓洋. 2023. タイムラプスカメラによる常緑広葉樹の植物季節観測. 自然教育園報告, (55) : 1–5.
- Shin N, Saitoh TM, Takeuchi Y, Miura T, Aiba M, Kurokawa H, Onoda Y, Ichii K, Nasahara KN, Suzuki R, Nakashizuka T, Muraoka H. 2023. Review: Monitoring of land cover changes and plant phenology by remote-sensing in East Asia. *Ecological Research*, (38) : 111–133. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12371>.
- 篠原 碧・奈佐原顕郎. 2022. 中分解能光学衛星センサーを使った常緑樹の樹種判別における開花シグナルの利用. 日本リモートセンシング学会誌, (42) : 1–6.
- 茂木 透・高橋秀男・勝山輝男. 2017. 山溪ハンディ図鑑3 樹に咲く花 離弁花1. 719pp. 山と溪谷社, 東京.