

<報 文>

福岡県の特定外来生物および類似種を対象とした植物同定アプリの識別能力の検証*

金子洋平**・須田隆一**

キーワード ①自動識別 ②市民科学 ③外来種管理 ④同定精度 ⑤アプリ

要 旨

福岡県に定着する特定外来生物の識別に適した植物同定アプリを選定するため、Flora Incognita, Google Lens, iNaturalist, Pl@ntNetの4種類のアプリの同定精度を比較した。特定外来生物9種と、誤同定の可能性がある類似種15種を対象とし、アプリが第一候補として提示した種名の正誤を評価した。その結果、Flora IncognitaとPl@ntNetは正答率、感度ともに最も高く、類似種を特定外来生物に誤同定する割合も少なかった。一方、Google Lens, iNaturalistは正答率、感度ともに相対的に低い傾向がみられた。GLMM解析の結果、アプリ間差に加えて、花を含む画像で正答率が大きく向上し、種による同定精度の差も大きいことが示された。このことから、福岡県における特定外来生物の同定にはFlora IncognitaとPl@ntNetが有用であり、調査においては開花期に実施することが推奨される。

1. はじめに

外来生物による生態系への影響は世界的に深刻化しており、生物多様性の保全や農林水産業への被害防止の観点から、的確な対策の実施が求められている^{1,2)}。外来生物対策においては、対象種の分布情報が侵入経路の解明、影響範囲の評価、さらには効果的な防除計画の立案に直結するため、その正確な把握が極めて重要である。しかし、広域にわたる分布調査には多大な労力と時間を要し、十分な情報収集が困難である。加えて、外来種対策として最も効果的とされる早期発見・早期防除を実現するためには、リアルタイムでの分布情報のモニタリングが望まれるものの、その実現は容易ではない。このような状況の中、2023年の外来生物法改正により、定着している特定外来生物への対策が都道府県の責務とされたことから^{3,4)}、各都道府県は地域における特定外来生物の分布状況を把握することが喫緊の課題となっている。

こうした課題に対する新たな解決策として、市民科学が注目されている。市民科学とは、専門家ではない市民が科学調査やデータ収集に参加し、研究や環境保全に貢献する取り組みであり⁵⁾、広域かつ大量のデータを必要とする環境科学分野において不可欠な役割を担いつつある⁶⁾。近年、スマートフォンやインターネットの普及により、一般市民が生物観察記録を容易に共有できる環境が整備されてきた。さらに、人工知能(AI)の発展に伴い、多

数の生物同定アプリケーションが開発され、専門的知識を持たない利用者からも効率的に情報を収集できる仕組みが形成されつつある。特に植物は写真撮影が比較的容易であることから、市民科学によるデータ収集の対象として適しており、外来種調査を含め、世界各地で膨大な生物情報が収集され、研究や保全活動に活用されている⁷⁻¹⁴⁾。

一方で、植物同定アプリは、学習データや種同定アルゴリズムがアプリ間で異なるため、アプリ間で同定精度や同定可能な種が大きく異なることが報告されている¹⁵⁻¹⁹⁾。また、植物の自動識別は葉を中心に研究が進められてきた経緯があり、葉が重要視される傾向にあるが²⁰⁾、花の画像や葉と花が混在する画像が高い同定精度を示す場合^{21,22)}や葉のみの画像の方が高い精度を示す場合²³⁾も報告されており、種によっては花の有無により同定精度が変動すると考えられる。そのため、同定精度の検証は極めて重要であり、外来種の同定に適したアプリの選定や、撮影すべき植物部位の特定が不可欠である。

そこで本研究では、福岡県に定着している特定外来生物の同定に適した植物同定アプリを選定することを目的とし、複数の植物同定アプリの識別能力を比較検証した。また、花の有無が同定精度に及ぼす影響についても検討を行った。

*Assessing the identification accuracy of plant recognition apps for designated invasive alien species and look-alike species in Fukuoka Prefecture

**Yohei KANEKO, Ryuichi SUDA (福岡県保健環境研究所) Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

2. 調査方法

2.1 調査対象の植物同定アプリ

調査に用いる植物同定アプリは、一般利用者が容易にアクセスできることを重視し、無料であること（無料版が存在しても利用回数等に制限があるものは除外）、iOSおよびAndroidの両方のOSに対応していること、日本語に対応していることの3条件を満たすものとした。その中でも国際的に広く利用され、学術論文で取り上げられるなど主要なアプリとして知られている、Flora Incognita（開発：Flora Incognita Project, ドイツ）、Google Lens（Google社, アメリカ）、iNaturalist（iNaturalist Project, アメリカ）、Pl@ntNet（Pl@ntNet Consortium, フランス）の4種類を調査対象とした。

2.2 同定精度検証の対象種および画像データ

同定精度の比較検証に用いる植物として、福岡県に定着する特定外来生物9種を選定した。対象種は、ボタンウキクサ *Pistia stratiotes*, オオフサモ *Myriophyllum aquaticum*, アレチウリ *Sicyos angulatus*, ナガエツルノゲイトウ *Alternanthera philoxeroides*, オオカワヂシャ *Veronica anagallis-aquatica*, オオキンケイギク *Coreopsis lanceolata*, ミズヒマワリ *Gymnocoronis spilanthoides*, ナルトサワギク *Senecio madagascariensis*, ブラジルチドメグサ *Hydrocotyle ranunculoides*である。さらに、各特定外来生物に誤同定

する可能性が高い類似種を、「特定外来生物同定マニュアル 植物」²⁴⁾などを参考に、福岡県に生育する種を各1~3種選定し、合計15種を対象とした（表1）。

同定に使用する画像は、主としてスマートフォンSONY XPERIA S0-41Bおよびコンパクトデジタルカメラ Olympus TOUGH TG-6を用いて撮影した。植物部位が同定精度に影響するかを明らかにするために、非開花期に茎葉（L）、開花期に花（茎葉を含む；F）の画像をそれぞれ撮影した。ただし、ボタンウキクサ、オオフサモ、ブラジルチドメグサの3種については、花が小型で目立たず同定精度に影響しないと考えられることから、茎葉の画像のみを対象とした。一方、ナルトサワギクは、通年開花しているため、花の画像のみを対象とした。また、オオキンケイギクについては、2月を含む時期の刈り取りが開花数を減少させる効果が高いと報告されており²⁵⁾、防除対策にはロゼット時期の同定が重要と考えられることから、花とロゼット（越冬時に見られる根元から放射状に葉が並んだ状態の植物体；R）を対象とした。

解析に用いた画像データ数は各種・撮影部位につき10枚とし、合計350枚の画像データを解析に供した。なお、ボタンウキクサについては必要枚数を確保できなかったため、環境省ホームページ「外来種写真集」²⁶⁾および他者提供の画像を補足的に使用した。これらの画像を用い、2025年11月から12月にかけてアプリによる同定作業を実施した。

表1 植物同定アプリの精度比較に用いた種と撮影部位

区分	和名	学名	科名*	原産地	撮影部位		
					茎葉	花（茎葉含む）	ロゼット
特定外来生物	ボタンウキクサ	<i>Pistia stratiotes</i>	サトイモ科	アフリカ	○		
類似種	ホテイアオイ	<i>Eichhornia crassipes</i>	ミズアオイ科	南アメリカ	○		
特定外来生物	オオフサモ	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	アリノトウグサ科	南アメリカ	○		
類似種	ホザキノフサモ	<i>Myriophyllum spicatum</i>	アリノトウグサ科	(在来種)	○		
特定外来生物	アレチウリ	<i>Sicyos angulatus</i>	ウリ科	北アメリカ	○	○	
類似種	キカラスウリ	<i>Trichosanthes kirilowii</i> var. <i>japonica</i>	ウリ科	(在来種, 日本固有種)	○	○	
特定外来生物	ナガエツルノゲイトウ	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	ヒユ科	南アメリカ	○	○	
類似種	ツルノゲイトウ	<i>Alternanthera sessilis</i>	ヒユ科	南アメリカ	○	○	
類似種	スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i>	スベリヒユ科	(在来種, 世界に広く分布)	○	○	
類似種	アメリカタカサブロウ	<i>Eclipta alba</i>	キク科	北アメリカ	○	○	
特定外来生物	オオカワヂシャ	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	オオバコ科	ヨーロッパ~アジア北部	○	○	
類似種	カワヂシャ	<i>Veronica undulata</i>	オオバコ科	(在来種)	○	○	
特定外来生物	オオキンケイギク	<i>Coreopsis lanceolata</i>	キク科	北アメリカ		○	○
類似種	ハルシャギク	<i>Coreopsis tinctoria</i>	キク科	北アメリカ西部		○	○
類似種	キバナコスモス	<i>Cosmos sulphureus</i>	キク科	中央アメリカ		○	○
類似種	セイタカアワダチソウ	<i>Solidago altissima</i>	キク科	北アメリカ			○
特定外来生物	ミズヒマワリ	<i>Gymnocoronis spilanthoides</i>	キク科	中央~南アメリカ	○	○	
類似種	ヌマダイコン	<i>Adenostemma lavenia</i>	キク科	(在来種)	○	○	
特定外来生物	ナルトサワギク	<i>Senecio madagascariensis</i>	キク科	東アフリカ (マダガスカル)		○	
類似種	サワギク	<i>Nemosenecio nikoensis</i>	キク科	(在来種, 日本固有種)		○	
類似種	オカオグルマ	<i>Tephrosia integrifolia</i> subsp. <i>Kirilowii</i>	キク科	(在来種)		○	
特定外来生物	ブラジルチドメグサ	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	ウコギ科	南北アメリカ	○		
類似種	チドメグサ	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i>	ウコギ科	(在来種)	○		
類似種	ウチワゼニクサ	<i>Hydrocotyle verticillata</i> var. <i>triradiata</i>	ウコギ科	北アメリカ南部	○		

*特定外来生物の配列は、APG分類体系の科名順に従った

2.3 解析方法

4種類の植物同定アプリのうち、iNaturalist, Pl@ntNetは複数の候補種を提示する仕様であるのに対し、Google LensおよびFlora Incognitaは最も可能性の高い1種のみを提示する仕様となっている。植物に関する専門的知識を持たない一般利用者にとって、複数の候補種から正しい種を選択することは容易ではなく、提示された最初の候補種を正解として受け取る可能性が高いと考えられる。そこで本研究では、各アプリにおいて提示された最初の候補種のみを同定精度の評価対象とした。

Flora Incognita, iNaturalist, Pl@ntNetの3種類は種レベルで同定を行う仕様であり、亜種・変種レベルの名称は提示されない。そのため、オカオグルマ *Tephrosieris integrifolia* subsp. *kirilowii* やキカラスウリ *Trichosanthes kirilowii* var. *japonica* などの亜種・変種については、基本種名である *Te. integrifolia* や *Tr. kirilowii* が提示された場合を正解として扱った。また、分類体系は常に更新されており、アプリが提示する学名の正確性を評価する際には、旧名やシノニムを考慮する必要があると指摘されている¹⁹⁾。Pl@ntNetにおけるアメリカカタカサブロウ *Eclipta alba* の同定結果では、*E. prostrata* が候補種として提示されるが、これはアメリカカタカサブロウおよびタカサブロウ *E. thermalis* のシノニムとされている²⁷⁾。そこでPl@ntNetの *E. prostrata* 登録地点データを確認すると、南北アメリカおよびインド、ヨーロッパに多く分布していたことから、これはアメリカカタカサブロウに相当するシノニムであると判断し、本研究では *E. prostrata* を正解として評価した。

同定結果が正解の場合を1、不正解の場合を0とする二値データを取得し、各種・撮影部位ごとの正答数を集計した。各種・撮影部位の最大スコアを10点とし、アプリ別にスコアを算出した。得られたスコアを基にヒートマップを作成し、アプリ間の同定精度の差異を視覚的に比較した。

アプリ間の同定精度の差を統計的に検証するため、同一画像に対する4種類のアプリの同定結果（二値データ）を解析に用いた。全アプリ間における同定精度の差を検出するためにCochran's Q検定を実施した。次に、特定の2アプリ間における同定結果の差異を詳細に評価するためMcNemar検定を適用し、Holm-Bonferroni法による多重比較補正により有意水準を調整して比較を行った。さらに、特定外来生物と類似種それぞれの誤同定の割合を評価するため、感度（sensitivity）および特異度（specificity）を算出した。感度は特定外来生物のうち正しく同定された割合、特異度は類似種のうち正しく同定された割合として定義した。類似種の誤同定については、特定外来生物への誤同定とその他の種への誤同定の

割合をそれぞれ算出した。

植物同定アプリの正答率に影響を及ぼす要因を明らかにするため、同定結果の二値データを従属変数とした一般化線形混合モデル（generalized linear mixed model: GLMM）を構築した。説明変数として、アプリ種別および撮影部位（L, F, R）を固定効果として投入した。植物種ごとに同定の難易度が異なる可能性が高いため、種をランダム変数としてモデルに組み込み、種間のばらつきを考慮した。リンク関数にはlogitを用い、誤差分布は二項分布とした。推定値の95%信頼区間はWald法により算出し、オッズ比（odds ratio）は推定値の指数変換により求めた。統計解析には、R version 4.5.0²⁸⁾を用い、GLMMの構築にはlme4パッケージ²⁹⁾、アプリ間の比較にはemmeansパッケージ³⁰⁾を使用した。

3. 結果

3.1 植物同定アプリの正答率

4種類の植物同定アプリ間で種ごとのスコアに明確なばらつきがみられた（図1）。Flora IncognitaおよびPl@ntNetは多くの種で高いスコアを示し、ヒートマップ上では広範囲にわたり高値（赤色）が分布した。一方、Google LensやiNaturalistでは低スコア（青色）を示す種が相対的に多かった。また、サワギク *Nemosencio nikoensis* はPl@ntNet、カワヂシャ *V. undulata* はiNaturalistのように、特定のアプリのみでスコアが高い

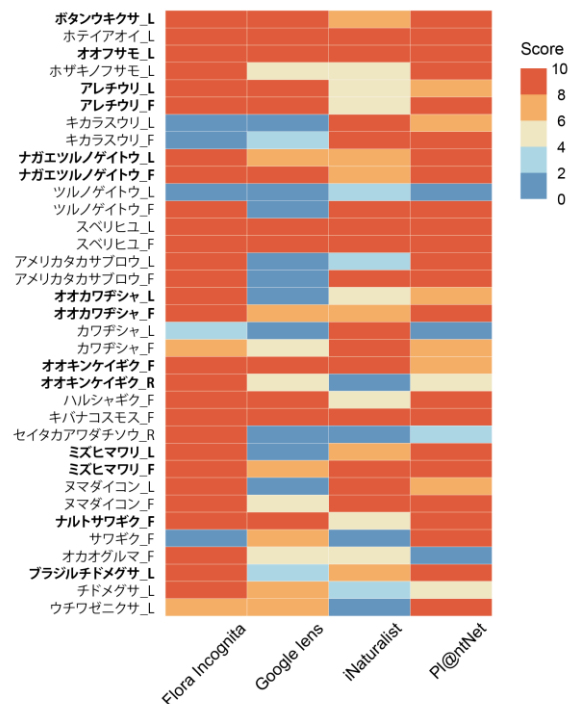


図1 植物同定アプリの種同定精度

太字は特定外来生物、細字は類似種、アルファベットは撮影部位を示す。L：茎葉，F：花（茎葉を含む），R：ロゼット

種やツルノゲイトウ (L) *A. sessilis*のように、4アプリ全てでスコアが低い種もみられた。

Cochran's Q検定の結果、各アプリの正答率には有意な差がみられた (表2)。推定正答率 (統計モデルによって補正された正答率) はFlora Incognitaの0.843 (95% CI: 0.788-0.886) が最も高く、次いで P1@ntNetの0.823 (0.766-0.868), iNaturalistの0.691 (0.627-0.749), Google Lensの0.603 (0.536-0.666) の順であった。McNemar検定によるペア比較では、Flora IncognitaはP1@ntNetとの間に有意差は認められなかったものの (OR = 1.16, $p = 0.479$), Google Lens (OR = 3.53, $p < 0.001$) および iNaturalist (OR = 2.39, $p < 0.001$) よりも有意に高い正答率を示した。また、P1@ntNetも Google Lens (OR = 3.06, $p < 0.001$) および iNaturalist (OR = 2.07, $p < 0.001$) より有意に高い正答率を示した。さらに、iNaturalistは Google Lensよりも高い正答率を示し、その差は有意であった (OR = 1.48, $p = 0.022$)。

感度・特異度を計算した結果を図2に示す。感度はFlora Incognitaの0.987 が最も高く、次いでP1@ntNetの0.900, Google Lensの0.727, iNaturalistの0.687の順であった。特異度については P1@ntNetの0.765が最も高く、Flora Incognitaの0.735, iNaturalistの0.695, Google Lensの0.510の順であった。また、特定外来生物への誤同定率は、iNaturalistの3.0%が最も低く、次いでFlora Incognitaの4.0%, P1@ntNetの7.0%, Google Lensの11.5%の順であった。特定外来生物への誤同定が頻出したのは、ツルノゲイトウ (L) であり、全てのアプリでナガエツルノゲイトウと誤同定する割合が高かった。その他には、Flora IncognitaとP1@ntNetでは、カワヂシャをオオカワヂシャと誤同定するケースなどがみられた。

3.2 植物同定アプリの正答率に影響を及ぼす要因

GLMMによる解析の結果、アプリ間で正答率に大きな差が認められた (表3)。Flora Incognitaを基準とした場合、P1@ntNet (OR = 0.839, 0.542-1.300) とは有意な差はみられなかったが、iNaturalist (OR = 0.330, 0.217-0.496), Google Lens (OR = 0.192, 0.127-0.290) は、いずれも有意に低い正答オッズを示した。撮影部位については、花を含む画像を基準とした場合、茎葉 (OR =

表2 植物同定アプリにおける推定正答率の比較

アプリ名	推定正答率	標準誤差	95%信頼区間*
Flora Incognita	0.843	0.020	0.788 - 0.886 ^c
Google Lens	0.603	0.026	0.536 - 0.666 ^a
iNaturalist	0.691	0.025	0.627 - 0.749 ^b
P1@ntNet	0.823	0.020	0.766 - 0.868 ^c

*異なる文字を持つ群間には有意差あり ($p < 0.05$; McNemar検定, Holm-Bonferroni補正)

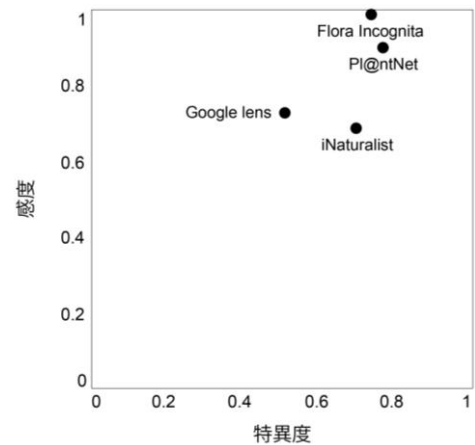


図2 植物同定アプリの感度および特異度

0.223, 0.152-0.328) およびロゼット (OR = 0.056, 0.015-0.206) は正答率が大幅に低かった。また、種をランダム効果としてモデルに組み込んだ結果、標準偏差は1.46であり、種間で大きなばらつきが認められた。

表3 植物同定アプリおよび撮影部位が正答率に及ぼす影響を評価した一般化線形混合モデルの推定結果

説明変数	オッズ比	95%信頼区間	p値
切片 (Intercept)	25.8	12.3 - 54.6	< 0.001
アプリ Google Lens	0.192	0.127 - 0.290	< 0.001
アプリ iNaturalist	0.330	0.217 - 0.496	< 0.001
アプリ P1@ntNet	0.839	0.542 - 1.300	0.431
撮影部位 茎葉 (L)	0.223	0.152 - 0.328	< 0.001
撮影部位 ロゼット (R)	0.056	0.015 - 0.206	< 0.001

基準アプリはFlora Incognita, 基準撮影部位は花 (茎葉を含む; F)

4. 考察

4.1 植物同定アプリの正答率

4種類の植物同定アプリを比較した結果、アプリ間で同定精度に顕著な差異が認められた。Flora IncognitaおよびP1@ntNetは最も高い同定精度を示し、いずれも正答率は80%を超え、感度は0.9以上であった。特にFlora Incognitaの感度は0.99と極めて高かった。今回対象とした特定外来生物の多くは南北アメリカ原産であるが、これらの種はヨーロッパにも外来種として広く侵入しており³¹⁾、両アプリの学習データに該当種の画像が比較的多く含まれていたことが高い同定精度につながったと考えられる。類似種においても、ホザキノフサモ *M. spicatum* やスベリヒユ *Portulaca oleracea* などヨーロッパにも分布する種では高い同定精度が得られた一方、アジアにのみ分布するサワギクやカワヂシャなどでは精度が低下する傾向がみられた。このことから、今後アジア地域の種を対象とした学習データの拡充により、さらなる精度向上が期待される。一方、類似種を特定外来生物として誤

同定する割合はFlora Incognitaの4%に対し、Pl@ntNetでは7%とやや高く、利用に際して注意が必要である。

iNaturalistおよびGoogle Lensは、アメリカで開発されたアプリであり、対象種の出産地との一致から高い同定精度が期待された。しかし、両アプリの正答率は60～70%、感度は0.7にとどまり、前述の2アプリよりも低い結果となった。特にGoogle Lensでは、類似種を特定外来生物として誤同定する割合が11.5%と最も高く、誤同定が分布情報の信頼性を低下させる可能性が示唆された。一方、iNaturalistは、類似種の特定外来生物への誤同定率が3%と最も低く、さらにカワヂシャを花の有無にかかわらず正確に同定できた点で他アプリより優れていた。この特徴は、カワヂシャの誤同定に基づく不適切な駆除を回避する上で有用であり、対象種に応じたアプリの選択により一定の活用可能性があると考えられる。

4.2 植物同定アプリの正答率に影響を及ぼす要因

植物同定アプリの正答率は、アプリの種類のみならず、撮影された植物部位や対象種によって大きく変動することが明らかとなった。花を含む画像は、茎葉やロゼットのみを写した画像と比較して高い正答率を示し、この傾向は繁殖器官を含む画像が同定精度を向上させるとする先行研究^{17, 32)}と一致していた。特にツルノゲイトウではその影響が顕著であり、花が写っていない場合の全アプリ平均正答率が約10%であったのに対し、花が写っている場合には約78%へと大幅に上昇した。一部の種では花の有無による正答率の差が小さかったものの、茎葉のみの画像が花を含む画像より高い正答率を示した例は認められなかった。このことから、同定精度を高めるためには、可能な限り開花期に調査を実施し、花を含む画像を取得することが推奨される。

また、本研究では単一画像による同定を行ったが、先行研究では単一の器官のみでは正確な同定が困難であること、さらに複数の器官を撮影することで同定精度が向上することが報告されている^{22, 33-35)}。Flora IncognitaおよびPl@ntNetは複数画像を用いた同定に対応しており、複数の器官を撮影する、あるいは同一器官であっても正面・側面など異なる視点から撮影することで識別に必要な特徴をより適切に捉えることができ、より高精度な同定につながると考えられる。

4.3 福岡県に生育する特定外来生物の同定に適したアプリと運用上の留意点

本研究の結果から、Flora IncognitaおよびPl@ntNetは、特定外来生物の誤同定および類似種を特定外来生物として誤同定する事例が極めて少なく、福岡県内における特定外来生物の同定に対して高い信頼性を有するアプ

リであると評価できる。さらに、近年これらのアプリの同定精度が急速に向上していることも報告されており³⁶⁾、今後のさらなる精度向上が期待される。

一方、市民科学を活用して特定外来生物の生育情報を収集するためには、種の正確な同定に加えて、位置情報や画像データを適切に取得・管理する仕組みが不可欠である。この点に関して、Flora Incognitaは個人の記録管理および地図表示機能を備えているものの、情報共有機能を持たないため、環境省が運用する「いきものログ」³⁷⁾など外部の生物情報共有システムとの併用が必要となる。これに対し、Pl@ntNetは情報共有機能を有しており、これを活用することで効率的な情報収集が可能である。また、Pl@ntNetの共有機能では公開範囲を設定でき、特定グループ内のみでデータを共有することも可能である。

さらに、アプリの運用上の課題として、これらのアプリは日本語表示に対応しているものの海外製アプリであることから、和名が未登録であったり、別名が提示されたりする事例が確認された。具体的には、オオフサモが「スマフサモ」、ナルトサワギクが「コウベギク」、オオキンケイギクが「アラゲオオキンケイギク」と提示される場合などがあった。利用者がこれらを別種として認識した場合、誤同定には該当しないものの、特定外来生物の生育情報が見逃される可能性があるため、市民参加型調査においては、この点に関して留意する必要がある。

これらのことから、特定外来生物の同定および情報収集に適したアプリを選択する際には、同定精度のみならず、都道府県の担当部局がどのような形でデータを収集・共有したいかといった運用上の要件や、種名表示の適切さといった実務的な側面も含め、複数の観点から総合的に判断することが重要である。また、適切なアプリを選択し活用することで、市民による迅速な報告と位置情報を含む生育情報の蓄積が可能となり、市民参加型のモニタリング体制をより効果的に構築できると考えられる。このことは、特定外来生物の早期発見・早期防除に資するだけでなく、侵入拡大の予測や重点的な対策地域の選定にも寄与する可能性がある。今後は、外来種対策への実装を見据え、都道府県のみならず、市町村、環境保全を担うNPO等、特定外来生物の影響を受ける可能性のある農業者・河川管理者、さらには一般市民などを含む多様な主体が連携したデータ収集・活用の仕組みづくりが求められる。

5. 謝辞

中島淳博士にボタンウキクサの写真を提供いただいた。ここに感謝申し上げます。

6. 引用文献

- 1) IPBES: Thematic assessment report on invasive alien species and their control of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services, Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 2023
- 2) 環境省, 農林水産省, 国土交通省: 外来種被害防止行動計画 第2版,
<https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/actionplan2/actionplan.pdf> (2026. 4. 10アクセス)
- 3) 水崎進介: 外来生物法の改正と狙い. 環境情報科学, **51**, 71-76, 2022
- 4) 環境省: 特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律,
https://www.env.go.jp/nature/intro/1law/files/20230601_houritsuzenbun.pdf (2026. 4. 10アクセス)
- 5) 一方井祐子, 小野英理, 榎戸輝揚: シチズンサイエンスの多様性: 日本における課題を考える. 日本生態学会誌, **71**, 91-97, 2021
- 6) Silvertown J.: A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, **24**, 467-471, 2009
- 7) Bonnet P., Joly A., Faton J-M., Brown S., Kimiti D., Deneu B., Servajean M., Affouard A., Lombardo J-C., Mary L., Vignau C., Munoz F.: How citizen scientists contribute to monitor protected areas thanks to automatic plant identification tools. *Ecological Solutions and Evidence*, **1**, e12023, 2020
- 8) Dimson M., Fortini L.B., Tingley M.W., Gillespie T.W.: Citizen science can complement professional invasive plant surveys and improve estimates of suitable habitat. *Diversity and Distributions*, **29**, 1141-1156, 2023
- 9) Compagnone F., Varricchione M., Stanisci A., Matteucci G., Carranza M.L.: Exploring the contribution of a generalist citizen science project for alien species detection and monitoring in Coastal Areas. A case study on the adriatic of Central Italy. *Diversity*, **16**, 746, 2024
- 10) Santana C., Bosch-Guiu A., Gómez-Bellver C., López-Pujol J., Nualart N.: A simplified method to detect and monitor alien plant species with invasive potential through citizen science: an application from the European Union-funded LIFE medCLIFFS project volunteers' data. *Invasive Plant Science and Management*, **18**, e4, 2025
- 11) Mason B. M., Mesaglio T., Heitmann J. B., Chandler M., Chowdhury S., Gorta S. B. Z., Grattarola F., Groom Q., Hitchcock C., Hoskins L., Lowe S. K., Marquis M., Pernat N., Shirey V., Baasanmunkh S., Callaghan C. T.: iNaturalist accelerates biodiversity research. *BioScience*, **75**, 953-965, 2025
- 12) Baasanmunkh S., Oyuntsetseg B., Tsegmed Z., Undruul A., Munkhtulga D., Urgamal M., Nyambayar N., Javzandolgor C., Bayarmaa C., Narangarvuu D., Batbayar N., Nyamsuren K., Namuulin T., Munkhzul O., Indra G., Batsugar G., Tsengel E., Kim Y. M., Callaghan C. T., Choi H. J.: iNaturalist projects represent a valuable resource for aggregating plant observations and engaging society: A case study of the Flora of Mongolia project. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, **8**, 26-37, 2026
- 13) Soteropoulos D. L., De Bellis C. R., Witsell T.: Citizen science contributions to address biodiversity loss and conservation planning in a rapidly developing region. *Diversity*, **13**, 255, 2021
- 14) 小出大, 辻本翔平, 熊谷直喜, 池上真木彦, 西廣淳: リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム. 保全生態学研究, **28**, 109-123, 2023
- 15) Jones H. G.: What plant is that? Tests of automated image recognition apps for plant identification on plants from the British flora. *AoB PLANTS*, **12**, plaa052, 2020
- 16) Hart A. G., Bosley H., Hooper C., Perry J., Sellors-Moore J., Moore O., Goodenough A. E.: Assessing the accuracy of free automated plant identification applications. *People and Nature*, **5**, 929-937, 2023
- 17) Campbell N., Peacock J., Bacon K. L., Domina G.: A repeatable scoring system for assessing Smartphone applications ability to identify herbaceous plants. *PLOS ONE*, **18**, e0283386, 2023
- 18) Scholten J.: Should AI replace field botanists? A case study assessing the accuracy of automated plant identification applications on plant species from New York State. *Northeastern Naturalist*, **32**, 40-51, 2025
- 19) Rzanny M., Bebbler A., Wittich H. C., Fritz A., Boho D., Mäder P., Wäldchen J.: More than rapid identification—Free plant identification apps can also be highly accurate. *People and Nature*, **6**, 2178-2181, 2024
- 20) Wäldchen J., Mäder P.: Plant species

- identification using computer vision techniques: A systematic literature review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, **25**, 507-543, 2018
- 21) Do T. B., Nguyen H. H., Nguyen T. T. N., Vu H., Tran T. T. H., Le T. L.: Plant identification using score-based fusion of multi-organ images, p.191-196, 2017 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE), 2017
- 22) Rzanny M., Mäder P., Deggelmann A., Chen M., Wäldchen J.: Flowers, leaves or both? How to obtain suitable images for automated plant identification. *Plant Methods*, **15**, 77, 2019
- 23) FatihahSahidan N., Juha A. K., Mohammad N., Ibrahim Z.: Flower and leaf recognition for plant identification using convolutional neural network. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **16**, 737-743, 2019
- 24) 環境省: 特定外来生物同定マニュアル—植物, https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/manual/10hp_shokubutsu.pdf (2026. 4. 10アクセス)
- 25) 畠瀬頼子, 小栗ひとみ, 松江正彦: 刈り取り管理の時期および回数が特定外来生物オオキンケイギクに及ぼす影響と防除効果. *ランドスケープ研究*, **73**, 421-426, 2010
- 26) 環境省: 外来種写真集, <https://www.env.go.jp/nature/intro/4document/asmg.html> (2026. 4. 10アクセス)
- 27) 米倉浩司, 梶田忠: BG Plants 和名—学名インデックス (YList), <http://ylist.info/index.html> (2026. 4. 10アクセス)
- 28) R Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025
- 29) Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S.: Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, **67**, 1-48, 2015
- 30) Lenth R., Piaskowski J.: emmeans: Estimated marginal means, aka Least-Squares Means. R package version 4.5.0, 2025
- 31) EPP0 (European and Mediterranean Plant Protection Organization): EPP0 Global Database, <https://gd.eppo.int/> (2026. 4. 10アクセス)
- 32) Pärtel J., Pärtel M., Wäldchen J.: Plant image identification application demonstrates high accuracy in Northern Europe. *AoB PLANTS*, **13**, plab050, 2021
- 33) Joly A., Goëau H., Bonnet P., Bakić V., Barbe J., Selmi S., Yahiaoui I., Carré J., Mouysset E., Molino J-F., Boujemaa N., Barthélémy D.: Interactive plant identification based on social image data. *Ecological Informatics*, **23**, 22-34, 2014
- 34) Brun P., de Witte L., Popp M. R., Zurell D., Karger D. N., Descombes P., de Lutio R., Wegner J. D., Bornand C., Eggenberg S., Olevski T., Zimmermann N. E.: FlorID – A nationwide identification service for plants from photos and habitat information. *Environmental Modelling & Software*, **188**, 106402, 2025
- 35) Popp M. R., Zimmermann N. E., Brun P.: Evaluating the use of automated plant identification tools in biodiversity monitoring — a case study in Switzerland. *Ecological Informatics*, **90**, 103316, 2025
- 36) Jones H. G., Jones A. J.: Application and pitfalls of the use of plant ID apps for urban flora and citizen science studies. *Plant Ecology & Diversity*, **18**, 287-295, 2025
- 37) 環境省生物多様性センター: いきものログ, <https://ikilog.biodic.go.jp/> (2026. 4. 10アクセス)