



特集 市民科学のデザイン：市民参加型調査の多様性と経営論

学術情報

モバイル端末を用いた生物多様性モニタリング手法開発に向けた 市民科学の実践

藤木 庄五郎*・龍野 瑞甫

株式会社バイオーム

Practice of citizen science for developing biodiversity monitoring methods using mobile devices

Shogoro Fujiki*, Midzuho Tatsuno

Biome inc.

要旨：現在、生物多様性の保全が世界的な課題となっている。筆者らは、実用的な生物多様性広域モニタリング手法の開発を目指し、市民が撮影した位置情報付きの生物画像を収集する取り組みを実施してきた。生物データ投稿機能とAI画像解析を組み合わせたアプリ「Biome（バイオーム）」を2019年4月に日本国内を対象に公開し、これまで（2020年6月25日時点）に2万種を超える生物の分布データが65万件以上投稿されたことを確認した。この成果は、モバイル端末を用いた市民参加型生物調査の有用性を示し、市民科学が網羅的な生物分布の広域モニタリングに活用できる可能性を示唆する。一方で、一般市民からデータを集める市民科学の性質上、データ精度において課題が残った。精度検証の結果、種レベルの誤同定率：9.0 - 10.6%、属レベルの誤同定率：6.6 - 7.1%、科レベルの誤同定率：3.8 - 3.9%、目レベルの誤同定率：2.1 - 2.2%であることが分かった。類似する取り組みと比較して特段低い精度ではないものの、改善の余地があるものと思われる。大量のデータを扱う市民科学において、実用性と精度を両立させるためには、データの精度向上を市民や専門家の労力に依存させるのではなく、システム自体が精度を担保するべきである。深層学習などの技術を活用し、生物の同定AIの開発を強化することが、データ精度を高め、市民科学や生物多様性モニタリングの今後の発展に大きく寄与するものと考ええる。

キーワード：市民参加型調査、モバイルアプリ、種分布データ、ゲーミフィケーション、AI画像解析

序 論

IPBES (2019) の報告では、現在、人間活動により動植物約100万種が絶滅の危機にあるとされており、生物多様性の包括的な保全が世界的な課題となっている。その課題解決のためには、実用的な生物多様性のモニタリング手法の確立と、データに基づく確かな保全策の実行が求められる。しかし一方で、生物多様性を広域で評価する実用的なモニタリング手法は開発が遅れており、中でも、国レベルでの広域地上調査は10年以内に実用水準

に到達することは困難という指摘もある (Goetz et al. 2015)。こうした背景から、実用的な生物多様性広域モニタリングとデータベースの構築手法の議論とその実践が喫緊の課題となっている。

筆者らは、実用的な生物多様性広域モニタリング手法の開発を目指し、市民がモバイル端末（スマートフォン・タブレット）で撮影した位置情報付きの生物画像を収集する取り組みを実践してきた。世界中に広く普及するモバイル端末から生物分布データを効率よく収集することができれば、網羅的な生物分布の広域モニタリングが飛躍的に進展する可能性があると考えられる (大澤ほか 2013)。併せて、近年著しく発達してきた深層学習などの

2020年8月9日受付、2020年10月14日受理

*e-mail: fujiki@biome.co.jp

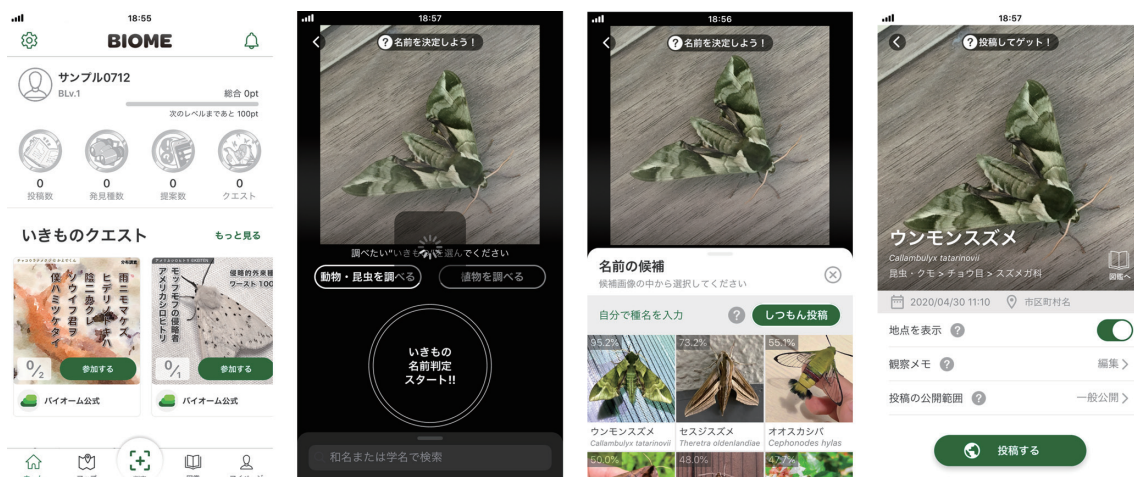


図1. 「Biome」の投稿画面フローの抜粋。

AI 技術を応用し、画像から生物種を自動で同定し、データベースに蓄積することができれば、データ収集の効率が大きく上がる可能性がある。それらの可能性を実践・検証するため、モバイル端末と AI 画像解析を組み合わせたアプリを 2019 年 4 月から公開し、運営を行っている。

類似するプロジェクトに、カリフォルニア科学アカデミーが 2008 年から運営する「iNaturalist (<http://www.inaturalist.org/>, 2020 年 7 月 10 日確認)」プロジェクトや、環境省生物多様性センターが 2015 年から運営する「いきものログ (<https://ikilog.biodic.go.jp/>, 2020 年 7 月 10 日確認)」(竹原ほか 2013 参照) などがあり、登録ユーザーが生物情報を投稿し、共有できるシステムが提供されている。筆者らが運営するモバイルアプリ「Biome (バイオーム)」(山口 2019) では、AI による生物種同定サポートに加えて、SNS やゲーミフィケーション (ゲームに使われている構造を、ゲームとは別の分野で応用すること) を導入することで、これまでの市民科学の主な参加者であったセミプロ・自然愛好家だけではなく、今まで自然科学に縁のなかったユーザー層の参加を積極的に促し、参加者の裾野を広げる工夫を取り入れている。さらに運営組織体を株式会社にする事で金銭的な持続性の担保を図りつつ、産官学民が連携して課題に取り組めるプラットフォームの構築を目指している点が特徴的である。

一般的に、モバイル端末を用いた市民参加型調査においては、生物種の同定が困難であることが課題に挙げられ (大澤ほか 2013)、データの質の担保が重要な課題となるが、写真資料が残されていれば、後から誤同定を修正し、データの質を向上させることが可能な場合もある (宮崎 2016; 渡辺 2016)。ただし、写真資料は標本に比べ

て、管理の手間やコストが小さい点は優れているものの、詳細な再検討ができない点で価値が劣ることは、留意する必要がある (渡辺 2016; 大澤 2017)。本稿では、スマートフォンアプリ「Biome」の運営から得られた全体の成果について紹介するとともに、収集されたデータの精度検証結果を報告する。さらに本事例を通して、生物多様性モニタリングの課題を挙げ、今後の在り方についての考察を行う。

対象と方法

モバイル端末から生物分布データを収集する取り組みとして、2016 年 8 月から開発を開始したアプリ「Biome」を 2019 年 4 月に Google Play、App Store で日本国内向けに無料公開した。「Biome」では見つけた動植物の位置情報付きの写真を投稿し、記録することができる。投稿までの流れは以下の通りである (図 1)。まず、端末のカメラ機能で動植物の写真を撮影した後、アプリ内の GUI にて所定の操作をすることで、該当画像がメタ情報 (位置情報、日時など) と共にサーバーに送られ、深層学習と分類アルゴリズムによって解析が行われる。AI モデルが 79,890 種 (亜種、変種等を含む) (2020 年 6 月 25 日現在) の動植物の中から確度の高い種の候補を検出し、それらがアプリ上に表示される。表示された候補の中から、ユーザーが正しいと判断した生物種を選択し、投稿することで操作が完了する。判定候補に正しい選択肢がない場合や、ユーザー自身が撮影した動植物を同定できる場合は、種名を自分で入力することで投稿を完了することもできる。また、どちらのフローでも種名が定まらない場

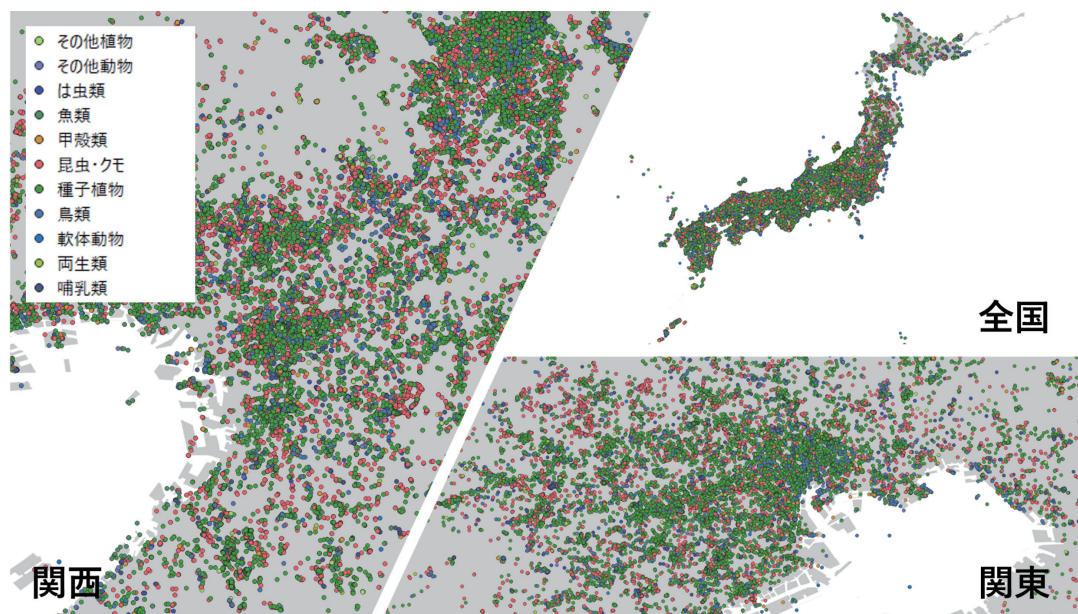


図2. リリース後1年間の投稿データ。

2019年4月26日～2020年4月25日の投稿データ。但し、「地点非公開」に設定された投稿と希少種（環境省レッドリスト2019）に関する投稿を除く。

合は、質問投稿機能を用いて他のユーザーに聞くことが可能である。投稿する際にユーザー自身で情報を公開するか非公開にするかを選択することができ、公開に設定された動植物の情報は、アプリ内のタイムラインに表示される。公開に設定された投稿は、誤同定があった場合に、他のユーザーからの指摘を受けることができ、ユーザーの判断で適宜登録した種名を修正することができる。「Biome」では、上記の仕組みを基本機能としつつ、SNSによる情報交換や、投稿によるポイント・達成バッジの付与などの付加機能を実装している。

「Biome」を用いて収集された生物分布データの結果集計と、誤同定率の検証を行った。誤同定率の検証に当たって2019年4月から2020年5月までに収集された投稿データを集計した。尚、投稿データには目、科、属、種、緯度、経度、撮影日時の情報が含まれている。非公開設定にされた投稿を含む全投稿データと、公開投稿のみのデータとがあるが、本稿では、公開に設定された投稿データのみを誤同定の検証に用いた。これは、ユーザー同士の教えあいによる自浄効果を含めたデータ精度を検証するためである。アプリユーザーが公開設定にしている436,344件（2020年6月2日時点）の投稿データの中から1,296件のサンプルをランダム抽出し、画像と位置情報を用いて専門家による同定を行い、その誤同定率を計算した。登録されている種名と画像に写る個体が、明ら

かに一致している（correct）、明らかに間違っている（incorrect）、どちらも判断がつかない（unidentifiable）、の3カテゴリに分けて集計を行った。集計は、目、科、属、種のそれぞれのレベルで実施し、それぞれの誤同定率を計算した。

結果

「Biome」におけるこれまで（2019年4月26日～2020年6月25日）のインストール人数は184,801人、全投稿は650,161件、期間中に投稿された生物種数は21,460種であった。リリース後1年間（2019年4月26日～2020年4月25日）の投稿数の内訳は3-5月：146,802件、6-8月：226,520件、9-11月94,461件、12-2月39,490件であり、季節による振れ幅が大きかった。投稿数が多かった上位5種を挙げると、植物では、アジサイ *Hydrangea macrophylla*、シロツメクサ *Trifolium repens*、ソメイヨシノ *Cerasus x yedoensis*、ドグダミ *Houttuynia cordata*、イチヨウ *Ginkgo biloba* であり、動物ではアブラゼミ *Graptopsaltria nigrofuscata*、ニホンアマガエル *Hyla japonica*、イエネコ *Felis silvestris subsp. catus*、オオカマキリ *Tenodera aridifolia*、ナナホシテントウ *Coccinella septempunctata* であった。投稿全体の分布は、人口の多い地域に投稿が集中する傾向（三大都市圏からの投稿が

表 1. 各分類レベルにおける投稿データの正誤表。unidentifiable を含む集計（上部）と含まない集計（下部）。

	correct	incorrect	unidentifiable	合計
種	985 (76%)	117 (9.0%)	194 (15%)	1296
属	1125 (86.8%)	86 (6.6%)	85 (6.6%)	1296
科	1199 (92.5%)	49 (3.8%)	48 (3.7%)	1296
目	1224 (94.4%)	27 (2.1%)	45 (3.5%)	1296
	correct	incorrect	unidentifiable	合計
種	985 (89.4%)	117 (10.6%)		1102
属	1125 (92.9%)	86 (7.1%)		1211
科	1199 (96.1%)	49 (3.9%)		1248
目	1224 (97.8%)	27 (2.2%)		1251

63%) がみられること (図 2)、市民から提供されるデータに場所的・時間的制約があること、目につきやすい普通種に投稿が偏っていることが確認された。また、種子植物と昆虫・クモの投稿がそれぞれ全投稿の 36%、43% を占めていた。

同定精度の集計結果は、種レベルの誤同定率：9.0% (unidentifiable を含んだデータセット) - 10.6% (unidentifiable を含まないデータセット)、属レベルの誤同定率：6.6 - 7.1%、科レベルの誤同定率：3.8 - 3.9%、目レベルの誤同定率：2.1% - 2.2% となり (表 1)、下位の階級の分類群になるほど高い頻度で誤同定が発生していた。unidentifiable に分類された画像は、種、属、科、目の順に、サンプル全体の 15.0%、6.6%、3.7%、3.5% となり、画像と日時、位置情報だけからでは、同定できる個体に限界があった。unidentifiable に分類された原因の多くは、画像が不鮮明であること、あるいは同定ポイントが画像に写っていないことに起因していた。

考 察

アプリ「Biome」で 1 年 2 カ月の間に収集したサンプル数は 65 万件以上、登録された生物種数は 2 万種を超えた。この結果は、モバイル端末を用いた市民参加型生物調査の有用性を示し、市民科学が網羅的な生物分布の広域モニタリングに活用できる可能性を示唆するものである。生態学に活用できるデータとして重要かつ必要最低限と

もいえる属性情報は、時間と位置情報であると指摘されており (細矢 2016; 神保 2015)、同アプリで収集した情報 (種名、画像、日時、緯度・経度) を生物多様性の評価に活用することは十分可能だと考えられる。本稿の結果は、国レベルでの生物多様性広域モニタリング手法の設計において、市民科学の考え方を導入することの意義を支持している。

データ数を拡大させることができた要因として、同アプリが 20 万人近い大量のユーザーにインストールされ、利用されたことが挙げられる。Silvertown (2009) は、市民参加型の調査を広げるために重要な 3 つの条件として、1. 簡便に情報を収集するツールの開発、2. 専門家と市民の協力体制の確立、3. 参加者への情報共有というかたちでの利益還元の見せ方を挙げている。「Biome」では、市民が生物調査に参加することの敷居の高さを埋めるため、生物名前判定 AI の導入や種名を他のユーザーに尋ねられる仕組みを構築した。これにより、比較的簡便に生物の名前を知ることができるようになったことが、参加のハードルを下げたと推察される。また、これまでの市民科学の取り組みは、専門家と市民の連携という観点で実施される場合が多かったが、同アプリでは、専門家と市民という垂直関係を構築せず、ユーザー自身が市民であり専門家であるというコンセプトを掲げている点が特徴である。さらに、参加者への利益還元の観点として、学術貢献などの高次の利益還元だけではなく、純粋に「楽しいからやる」というモチベーションを得られる仕組みの

構築に一貫して取り組んできた。SNS 機能を用いた市民同士、または市民と研究者とのコミュニケーションの場の提供や、競争心理を引き出すエンターテインメントの機能の導入によって、データ収集量が上昇した事例が知られており (Rosner 2013 ; Sullivan et al. 2014)、同アプリにおいても、ゲーム要素や SNS 要素を導入したことが大きな効果をもたらしたと考えられる。

一方で、データの誤同定については、無視できない割合で発生していることが確認された。「Biome」の提案機能・通報機能を用いたユーザー間の相互監視のもと、誤同定が自浄されていく傾向がみられるが、種レベルでのデータの利用・解析を前提とするならば、現状では専門家による確認、またはデータクレンジング処理が必要になると言える。同アプリと類似する「iNaturalist」プロジェクトで、2,201 件のアメリカのシロアリの投稿について、属より上位分類群レベルでの誤同定率を調べたところ、誤同定率は 6.5% だったことが報告されている (Hochmair et al. 2020)。「Biome」における誤同定率は属レベルで 6.6 - 7.1% だったことから、他の取り組みと比べて著しく精度が下回ることではなく、同定の根拠となる写真資料や投稿のメタ情報 (撮影日時や地理情報など) をもとに、後から誤同定の投稿を修正、削除することで、十分科学的に信頼できるデータセットになると考えられる。そのためにも、データのトレーサビリティに留意し、根拠となる情報をアーカイブとして保存していくことが重要である。

また、データの精度と併せて、データバイアスにも注意が必要である。本稿の取り組みにおいても、データに場所的・時間的制約があること、目につきやすい種に投稿が偏っていることが確認されている。特に人口密度と投稿数の相関は強く、分布予測などに用いる際には、バイアスの除去が不可欠だと考えられる。投稿される種の分類群による偏りは Pennisi (2010) や大澤 (2017) も指摘しており、その解決は今後の重要な課題の一つである。

上述のように、特別な知識を持たない一般市民による市民科学は、その性質上、情報の正確性を担保することは難しく、この分野の今後の大きな課題になると考えられる。筆者らは、大量のデータを扱う市民科学において、実用性と精度を両立させるためには、データの精度向上を市民や専門家の労力に依存させるのではなく、システム自体が精度を担保するべきだと考えている。その観点から、画像解析 AI の発達に大きな期待を寄せている。画像解析を用いた生物種同定を実用化させる上で、1. 十分な量の教師画像の確保、2. 画像による同定精度の限界が

課題として挙げられる。Biome に用いている同定アルゴリズムは、上述の課題を解決・緩和するため、画像に依存させすぎないことを基本思想に設定した。すなわち、畳み込みニューラルネットワーク (convolutional neural network: CNN) による画像の特徴量の深層学習と並行して、画像に付加されているメタ情報をモデル化し、学習に組み込む試みの導入である。ここで言うメタ情報とは、位置情報、撮影日時、およびそれらに紐づけられる環境条件 (気温、降水量、植生パターン等) 等を指す。これにより、大量の生物種カテゴリの教師画像を準備する労力を低減し、画像だけでは判断できない種の同定が可能になるものと考えている。今後、これまでに集められたデータ群を機械学習の強化にフィードバックしていくことで、さらなる精度向上を行い、情報の正確性をシステムが担保する仕組みの構築に取り組む予定である。

AI モデルの進歩とともに、市民科学や生物多様性モニタリングの在り方が今後大きく変わることが予想される。これまで半自動的に種同定を行ってきたカメラトラップによる中大型哺乳類・鳥類調査も大部分が AI によって自動化される可能性がある。また、AI と Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 等の空撮技術を組み合わせた手法により、樹木調査の大幅な効率化が期待されている (Onishi and Ise 2018)。さらに、水中ドローン及び水中動画撮影技術の進歩は、これまで労力が大きかった水中での生物調査の風景を大きく変えるかもしれない。市民参加型調査においても、特定の人が特定のアプリで参加するのではなく、不特定多数の人が WEB や SNS 上にアップした画像を解析することで、より多くのデータを自動で集める仕組みに発展することも考えられる。そのためにも生態学の枠にとらわれず、分野横断的な開発や研究に取り組むことが必要である。これからの市民科学を考える上では、市民 - 科学者の関係だけではなく、産官学民全てが連携する姿勢が必要だと強く感じている。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、青柳亮太博士、瀬能宏博士、西浩孝博士、吉富博之博士に同定作業において多大なご助力をいただいた。本特集を共に計画した、一方井祐子博士、大野ゆかり博士、森井悠太博士にも有益な助言をいただいた。その他、協力してくださった全ての Biome ユーザー、研究者の方々に、心からの感謝を申し上げる。また、本稿で紹介した取り組みは、公益財団法人京都産業 21 平成 30 年度次世代地域産業推進事業「生物の名前判定 AI

を用いた生物ビッグデータの構築」の支援を得て遂行された。

引用文献

- Goetz SJ, Hansen M, Houghton RA, Walker W, Laporte N, Busch J (2015) Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+. *Environmental Research Letters*, 10:123001
- Hochmair HH, Scheffrahn RH, Basille M, Boone M (2020) Evaluating the data quality of iNaturalist termite records. *PLoS One*, 15:1-19
- 細矢 剛 (2016) 地球規模生物多様性情報機構GBIFの働きと役割. *日本生態学会誌*, 66:209-214.
- IPBES (2019) “Nature’s dangerous decline unprecedented; species extinction rates accelerating” <https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment>, 2020年7月10日確認
- 神保 宇嗣 (2015) 分類学研究の新しい可能性としての情報技術と情報学. *Primixia*, 18:9-17
- 宮崎 佑介 (2016) 市民科学と生物多様性情報データベースの関わり. *日本生態学会誌*, 66:237-246
- Onishi M, Ise T (2018) Automatic classification of trees using a UAV onboard camera and deep learning. *arXiv*, arXiv:1804.10390
- 大澤 剛士 (2017) 保全科学におけるデータギャップの現状と解消に向けた取り組み. *保全生態学研究* 22:41-53
- 大澤 剛士, 山中 武彦, 中谷 至伸 (2013) 携帯電話を利用した市民参加型生物調査の手法確立. *保全生態学研究*, 18:157-165
- Pennisi E (2010) Filling gaps in global biodiversity estimates. *Science*, 330:24.
- Rosner H (2013) Data on Wings. *Scientific American*, 308:68-73
- Silvertown J (2009) A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 24:467-471
- Sullivan BL, Aycrigg JL, Barry JH, Bonney RE, Bruns N, Cooper CB, Damoulas T, Dhondt AA, Dietterich T, Farnsworth A, Fink D, Fitzpatrick JW, Fredericks T, Gerbracht J, Gomes C, Hochachka WM, Iliff MJ, Lagoze C, La Sorte FA, Merrifield M, Morris W, Phillips TB, Reynolds M, Rodewald AD, Rosenberg KV, Trautmann NM, Wiggins A, Winkler DW, Wong WK, Wood CL, Yu J, Kelling S (2014) The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169:31-40
- 竹原 真理, 佐藤 直人, 大谷 知生, 鑑 雅哉 (2013) 環境省生物多様性センターにおけるウェブサイトを活用した生物多様性情報の収集・提供の取り組み. *日本生態学会誌*, 63:141-144
- 渡辺 恭平 (2016) 生物多様性情報と地方自然史博物館. *日本生態学会誌*, 66:247-252
- 山口 泰博 (2019) 環境問題をビジネスに変える 株式会社バイオーム代表取締役 藤木庄五郎. *産学官連携ジャーナル*, 15:29-30