

音響モニタリングの自動化による外来カエル類の 迅速な侵入検出法の開発

木村 楓 (研究代表者)

京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻

背景

侵略的外来種の侵入は地域の生物多様性の喪失をもたらすものとして、国際的な課題となっている。外来種を根絶するには侵入初期に対策すると最も成功しやすいため、侵入の早期発見が重要である。そのために侵入の有無を継続的にモニタリングする必要がある、モニタリングを効率化する手法として機械学習の一種であるディープラーニングが注目されている(例えば O'Shea-Wheller et al. 2024)。カメラトラップで得られた画像やレコーダーで録音された音声から種を判定する作業を、ディープラーニングを用いて自動化することで、従来の人力による調査法よりも効率的に広範囲でのモニタリングが可能になると期待される。

西表島は世界自然遺産に選定されている沖縄県の島で、オオヒキガエル (*Rhinella marina*) およびシロアゴガエル (*Polypedates leucomystax*) の2種の外来種のカエル類がたびたび侵入している。オオヒキガエルは貪食かつ有毒なアメリカ大陸原産のヒキガエルで、強い侵略性をもつことが知られる(Shine 2010)。シロアゴガエルは東南アジア原産の樹上性のカエルで、その生態系へのインパクトはオオヒキガエルほど良くわかっていないものの、資源をめぐる競争、繁殖干渉、寄生物の輸送などを通じて在来のカエル類に負の影響を与える懸念がある(Ota et al. 2004)。これらの2種の外来カエル類は西表島から約30kmの距離にある石垣島には高密度で生息しており、貨物等に紛れて、これまでに10回以上にわたり西表島への侵入が報告されている。継続的な巡視員による見回りと捕獲努力によって西表島での定着は防がれているものの(中島ら 2005)、リソース不足により巡視できる範囲や頻度は限定的である。より広範囲で継続的なモニタリング調査を行うためには、外来種の侵入を自動で検出するシステムの開発が必要である。

研究内容

そこで本研究では西表島におけるオオヒキガエルとシロアゴガエルの自動検出を可能にするディープラーニングモデルの開発を目的とした。カエル類は繁殖期に発する鳴き声によって効率的に個体群のモニタリングが可能であるため、まず、西表島および石垣島に生息するカエル類を鳴き声から判別するディープラーニングモデルを訓練した。西表島には外来カエル類が未定着であ

るので、それらの鳴き声は近隣の石垣島で取得したものをモデルの訓練に用いた。つづいて、石垣島・西表島両島において訓練したモデルの検出性能をテストした。最後に、モニタリング調査に適した時期が何月ごろか評価するため、石垣島におけるオオヒキガエルとシロアゴガエルの繁殖期を調査した。

研究結果

西表島・石垣島で取得したカエルの鳴き声を含む環境音をもとに鳴き声のデータセットを作成し、生物音響解析用のディープラーニングモデルである BirdNET(Kahl et al. 2021)を訓練した。作成した 190 分間のデータセットのうち、8 割をモデルの訓練に、1 割をハイパーパラメータの調節に、残り 1 割をモデルの性能評価に用いた。

外来カエル類の鳴き声に対するモデルの検出性能は、石垣島において、シロアゴガエルで精度・感度がともに 99%、オオヒキガエルではそれらがともに 100%であり、高い正解率を示した。両種が定着していない西表島においては、プレイバックした（スピーカーで再生した）鳴き声をモデルが適切に検出できるかどうかで性能評価を行った。結果、シロアゴガエルの精度は 100%・感度は 63%、オオヒキガエルは精度 100%・感度 91%であり、とくにシロアゴガエルにおいてやや低い感度となった。しかしながら、この程度の感度であっても、モデルはプレイバックを行った日をほぼ適切に検出できていた（図 1）。例外的に検出に失敗したのは 7 月 29 日と 12 月 28 日のシロアゴガエルの鳴き声である。7 月 29 日にはヤエヤマカジカガエルが、12 月 28 日にはヒメアマガエル（どちらも在来のカエル類）が盛んに鳴いていたため、他種の鳴き声が大きいとシロアゴガエルの鳴き声を検出できない場合があるようだった。しかしこれらの外来カエル類が侵入した場合には、1 日だけでなく数日以上にわたって鳴き声を発すると思われるため、侵入の有無を判定するという目的の上では許容範囲内だと考えられる。

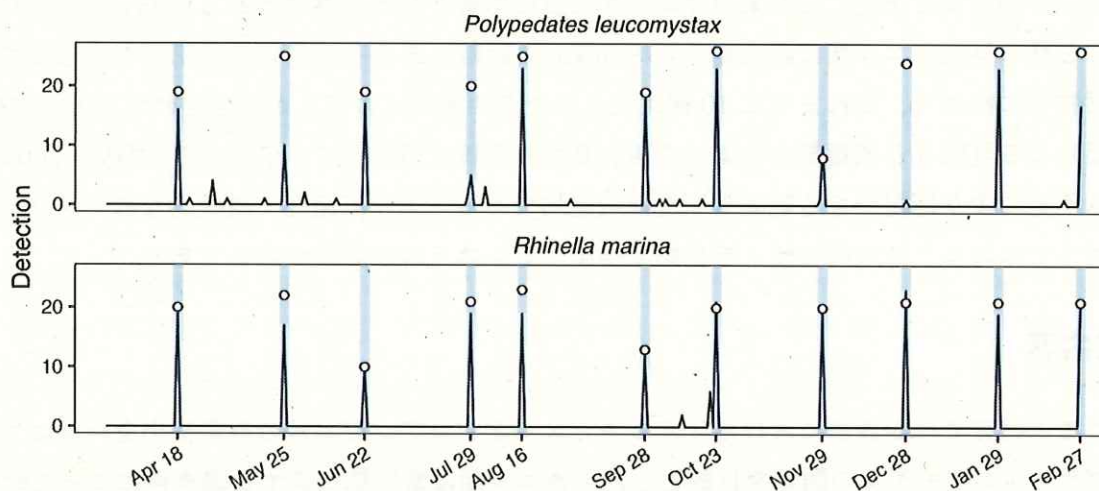


図 1 訓練した BirdNET モデルによるプレイバックの検出数。黒線はモデルの出力を、白丸は正解ラベルの値を示す。黒線が白丸に近いほど、モデルの予測が正確であることを表す。プレイバック調査日を薄い青色で示す。

続いて、訓練したモデルを石垣島での録音データに適用することで、シロアゴガエルとオオヒキガエルの繁殖期を明らかにした（図2）。シロアゴガエルは4月中旬から11月上旬まで鳴き声が確認され、とくに5月から9月にピークがあった。一方でオオヒキガエルの繁殖期には明瞭な季節性が見られず、鳴き声が活発な時期とそうでない時期が途切れ途切れに繰り返されていた。したがって、シロアゴガエルを対象とした巡視は夏季に行うと効果的だが、オオヒキガエルは通年巡視を行うことで早期発見が可能になるかもしれない。

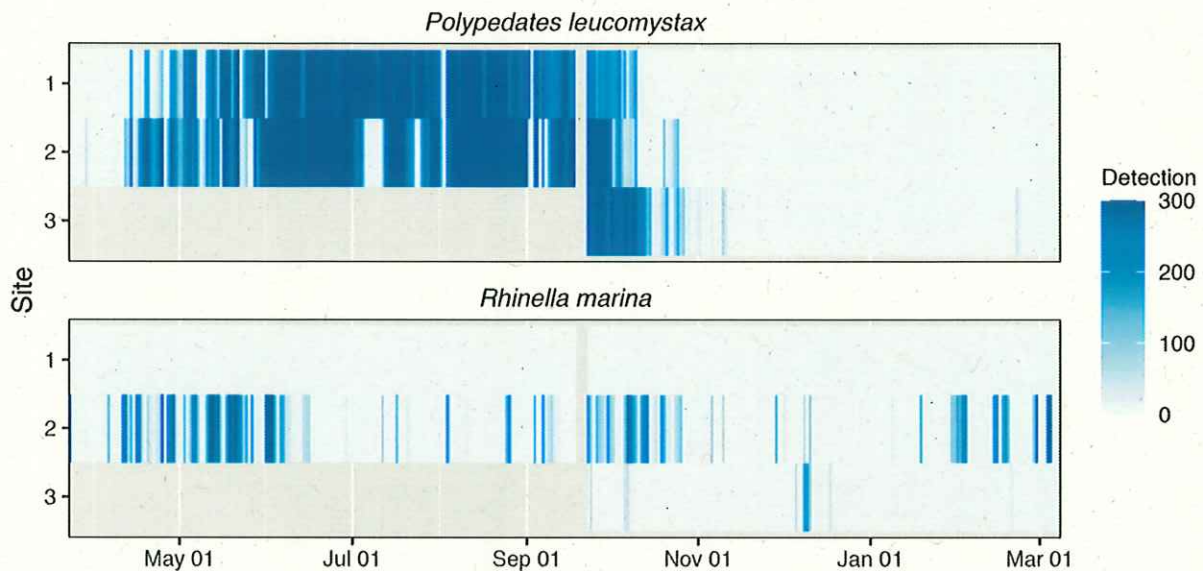


図2 訓練済み BirdNET モデルを用いて推定したシロアゴガエル (*Polypedates leucomystax*) とオオヒキガエル (*Rhinella marina*) の石垣島での繁殖期。灰色は欠損値を表す。

- 研究成果のより詳細な内容については以下に報告しています。

Kimura, K., I. Fukuyama, and K. Fukuyama. 2024. Deep learning-based detector of invasive alien frogs, *Polypedates leucomystax* and *Rhinella marina*, on an island at invasion front. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2024.07.27.605431> (査読前原稿)

侵入前線の島嶼における外来カエル類（シロアゴガエルとオオヒキガエル）のディープラーニングによる検出

引用文献

Kahl S, Wood CM, Eibl M, Klinck H (2021) BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. Ecol Inform 61:101236

中島朋成, 戸田光彦, 青木正成, 鎌雅哉 (2005) 西表島におけるオオヒキガエル対策事業について. 爬虫両棲類学会報

2005:179-186

O'Shea-Wheller TA, Corbett A, Osborne JL, Recker M, Kennedy PJ (2024) VespAI: a deep learning-based system for the detection of invasive hornets. *Commun Biol* 7:354

Ota H, Toda M, Masunaga G, Kikukawa A, Toda M (2004) Feral populations of amphibians and reptiles in the Ryukyu Archipelago, Japan. *Glob Environ Res* 8:133-143

Shine R (2010) The ecological impact of invasive cane toads (*Bufo marinus*) in Australia. *Q Rev Biol* 85:253-291