

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	高屋 浩介
論文題目	Individual Identification of Japanese Giant Salamanders ( <i>Andrias japonicus</i> ) and Detection of Their Hybrids by Image Recognition Using Deep Learning (深層学習を用いたオオサンショウウオ( <i>Andrias japonicus</i> )の個体識別 及び交雑種判別手法の開発)		
(論文内容の要旨)			
<p>野生動物の個体識別は、生存率や適応度などの生態学的な指標の評価や、生物多様性の保全の上でも必要不可欠である。しかし、物理的な標識を取り付けるような従来の個体識別手法には対象種を傷つけ、行動に影響を与える可能性があった。本研究は深層学習と画像を組み合わせた新たな個体識別及び交雑種判別手法の開発を行い、実際の生態学的な調査への応用可能性も検証した。</p> <p>第1章では、本論文の総合的な導入として、従来の野生動物に対する個体識別手法の研究史について整理し、各手法の利点と課題を述べた。非侵襲的な手法として写真が用いられてきたが、人手に頼った識別では労力が課題となっていたことを指摘した。そして、この課題を克服するために、深層学習の画像認識技術を用いた新たな個体識別手法の開発に着目する学術的意義及び研究目的を示した。先行研究で画像認識技術を個体識別に適用した事例では主に哺乳類を扱っており、脊椎動物の中で最も絶滅の恐れのある種の割合が高い両生類を対象とした研究はなかった。そこで本研究では、日本の固有種であり絶滅が危惧されているオオサンショウウオを対象とし、スマートフォンで撮影した画像と深層学習を用いて個体識別する技術の開発とその応用を行った。</p> <p>第2章では、広島市安佐動物公園で飼育されている11個体のオオサンショウウオを対象として、EfficientNetV2を用いて画像から個体を識別した。解析の結果、頭部の斑紋の差異を用いることで全ての個体の識別が可能であった。さらに、水面の反射を抑え、十分な光量の下で斑紋を明確に撮影した画像が高い精度に寄与することが示唆され、本手法が非侵襲的な新たな個体識別手法になりうる可能性を示した。</p> <p>第3章では、開発した手法とGrad-CAMを用いて、オオサンショウウオとチュウゴクオオサンショウウオの交雑種の判別を行った。近年、本種の個体数減少の一因として、外来種との交雑が課題となっている。交雑種の正確な判別にはDNA解析が不可欠であるが、専門家であれば交雑の疑いがある個体を目視で識別できる。そのため、画像と深層学習を用いて非専門家による判別が可能になれば、交雑種の侵入地域を早期に発見できる。そこで、本研究では在来種11個体、交雑種20個体を解析に使用し、交</p>			

雑種の特徴的な斑紋パターンを画像判別する技術を開発した。その結果、解析に用いた個体を全て在来種と交雑種に正しく分類することができた。また、Grad-CAMを用いて深層学習により抽出・利用された特徴を可視化することで、両種を見分ける上で重要となる領域を示すことに成功した。

第4章では、開発した個体識別手法を野外調査へ適用した。深層学習を生態学に応用した研究は技術開発にとどまるものが多く、実用可能性まで調べた研究は少なかった。そこで、本研究ではオオサンショウウオの繁殖に伴う季節的な移動に着目し、野外で撮影された画像を用いて個体識別することで、河川内における個体の移動距離を算出した。広島県内の河川において約830mの調査区間を設定し、繁殖期前後の5月から10月にかけて調査した。本種は夜行性であるため、日没後にヘッドライトで河川内を照らしながら調査区間内の個体を撮影し、発見場所の位置情報を記録した。そして、第2章で開発した手法を用いた結果、解析対象とした個体の80%以上の識別に成功し、十分な光量で同一角度から撮影できれば夜間調査の画像でも個体識別が可能であることを示した。さらに、移動距離を算出した結果、ほとんどの個体は比較的短距離を移動していた一方で、一部の個体は200m以上の長距離移動をしていた。また、河川内移動の障壁となりうる堰堤を越えて移動していた個体も確認された。これらの結果は、深層学習と画像を用いた手法により個体を識別できるだけでなく、研究対象種の移動距離のような生態学的な指標の把握も可能であることを示した。

第5章では第2章から第4章で得られた知見に基づき、深層学習を用いた個体識別及び交雑種判別手法の意義や課題、生態学的な調査に応用する将来性について総合的な考察を行った。本研究ではスマートフォンで撮影した写真から個体を識別する手法を確立しただけでなく、特徴的な斑紋を用いた交雑種の判別手法も開発した。また、野外調査に本手法が応用できることを示した。さらに、今後の課題として、絶滅危惧種のような個体数の少ない動物から深層学習に必要な大量の画像を取得する困難さや野外で撮影された様々な画像に本手法を適用するためにAIモデルの頑強性を向上させる必要性を指摘した。スマートフォンの普及により、野生動物を撮影する機会は増加している。本研究は情報科学や市民科学と生態学を融合させる新たな手法を提案し、従来困難だった時空間スケールで生態学的な調査を展開できる可能性を示唆するものである。

注)論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 words で作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

個体を識別することで得られる情報は生態学的基礎研究だけでなく、生物多様性保全の上でも有益である。調査対象種の捕獲や物理的マーキングを必要としない個体識別手法として、従来は動物の模様や傷のような個体固有の特徴の写真判別が一般的であったが、大量の写真の識別に必要な労力が課題であった。近年、深層学習による画像認識技術が飛躍的に進歩し、生態学分野でも応用され始めた。しかし、この技術を個体識別に適用する研究は不足していた。本研究は絶滅の恐れのあるオオサンショウウオを対象種として、画像と深層学習を組み合わせた個体識別手法の可能性を示しただけでなく、オオサンショウウオとチュウゴクオオサンショウウオの交雑個体の判別への応用性も検証した。本研究の評価できる点は以下のとおりである。

1. 深層学習を用いた個体識別手法を両生類で初めて確立した。斑紋の差異に基づき、オオサンショウウオの個体識別が可能であることを示した。
2. 画像を用いてオオサンショウウオとチュウゴクオオサンショウウオの交雑種の判別に成功した。また、深層学習において両種を判別する際の判断基準となっている斑紋パターンも可視化した。
3. 夜間調査で撮影した画像においても個体識別が可能であることを示し、実際の生態学的な研究における実用性を明らかにした。

以上のように、本研究は画像と深層学習を組み合わせた個体識別手法の開発に成功し、高い精度と応用可能性を示した。また、交雑種の特徴的な斑紋パターンを画像判別する技術を開発し、非接触でのスクリーニングの可能性を開いた。さらに、従来の深層学習を用いた研究は実用性が課題であったが、夜間調査の画像からでも個体識別が可能であることを示した。本研究の成果は斑紋がある他種への応用だけでなく、PITタグのような物理的な標識の装着が困難だった小型の動物に対する新しい個体識別手法となることも期待できる。本研究は、両生類学、保全生態学、応用生態学、動物生態学、野生動物管理学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和6年1月29日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）