

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22456

研究課題名（和文）AI霊長類学者の誕生を目指した行動観察システムの確立

研究課題名（英文）Proposal for a behavior observation system aimed at creating AI primatologists

研究代表者

山田 一憲（YAMADA, Kazunori）

大阪大学・大学院人間科学研究科・講師

研究者番号：80506999

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：野生霊長類を対象とした伝統的な社会行動研究では、研究者がフィールドにおもむいて、個体識別をしながら直接観察を行って、ペンとノートを用いてサル（マカク）の行動を記録してきた。霊長類の野外研究は、観察に多大な労力が必要となるため、データの蓄積に時間がかかる。大規模データ解析が今後さらに発展すると予測される中で、霊長類学の次のブレイクスルーはいかに多くの行動データを集めることができるかにかかっている。本研究では、深層学習を利用することによって、動画画像の中から野生ニホンザル検出するアルゴリズムと野生ニホンザルの個体識別を可能にするアルゴリズムの開発を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施期間中に新型コロナウイルスの流行があり、フィールドワークやフィールドに出向いての実地検証が難しい状況が続いた。しかし、本研究で開発した個体識別アルゴリズムを分散型SNSで利用できるシステムを構築したため、我々研究者がフィールドに行けない状況であっても、個体識別が十分にできない現地の方々がこのシステムを使うことで、個体を識別し、アカンボウを出産した個体名や死亡した個体名など野生ニホンザル集団の管理に欠かせない情報を欠損なく、継続して記録することができた。本研究により、霊長類研究者でない方々が、霊長類研究者のように個体識別をして、サルと関わるきっかけを作り出すことができた。

研究成果の概要（英文）：In traditional social behavior research on wild primates, researchers have gone into the field to make direct observations while identifying individuals and recording monkey behavior with a pen and notebook. Field studies of primates require a great deal of effort in observation, and data accumulation is time-consuming. As large-scale data analysis is expected to develop further in the future, the next breakthrough in primatology will depend on how much behavioral data can be collected. In this study, we aimed to develop an algorithm for detecting wild Japanese macaques in video images and an algorithm for identifying individual wild macaques by using deep learning.

研究分野：比較行動学

キーワード：ニホンザル 深層学習 霊長類学 個体識別 行動観察 個体追跡観察 野猿公苑

1. 研究開始当初の背景

ペンとノートと双眼鏡があれば事足りていた、古き良き霊長類学は終わりを迎えている。Altmann(1974)がもたらした定量的観察の手法は、職人技的な観察力や表現力がなくても、サルや動物の行動や社会といったあいまいな対象を「量的に正しく表現する」ことを可能にした。高度な統計モデリングの手法は、多様な要因が絡みあって生じるサルや動物の社会行動を解きほぐす有力な道具となっているが、その道具が十分な威力を発揮するためには、大量のデータが必要になる。霊長類の社会性の高さが適応価となっていることを世界で初めて実証した Silk et al. (2003)では108頭のメスに関する15年分のデータ、計5666時間分の観察データが利用されている。チンパンジーの同種殺しが資源競合により生じていることを示した Wilson et al. (2014)では、解析対象となったのは16の調査地の累積で426年分のデータであった。日本発祥の古き良きサル学のすばらしさは十分に認め、感謝するものであるが、世界水準の動物行動研究が今後ますますBig Data化していくことは間違いない。将来の研究動向がデータ量の勝負になると予測される中で、我々は、野生霊長類の社会行動研究において、世界のどの研究者よりも多くのデータを収集したいと強く望んでいる。代表者は、野生ニホンザルを過去18年にわたり継続的に調査してきた霊長類学者である。霊長類学ではサルや動物の顔と名前を1頭1頭覚えて、行動を記録する個体識別という方法を利用する。代表者と分担者は、ディープラーニングを用いて霊長類学者の個体識別能力をコンピュータ上に再現するプログラムの開発を2016年度より開始している。プログラム開発は順調に進んでおり、ニホンザルの写真から個体名を高い確率で推測できるようになった。

2. 研究の目的

野生霊長類を対象とした伝統的な社会行動研究では、研究者がフィールドにおもむいて、個体識別をしながら直接観察を行って、ペンとノートを用いてサルや動物の行動を記録してきた。霊長類の野外研究は、観察に多大な労力が必要となるため、データの蓄積に時間がかかる。大規模データ解析が今後さらに発展すると予測される中で、霊長類学の次のブレイクスルーはいかに多くの行動データを集めることができるかにかかっている。本研究では、深層学習を利用することによって、動画の中から野生ニホンザルを検出するプログラムとニホンザルの個体識別を可能にするプログラムの開発を目指した。将来的には、これらのプログラムをさらに洗練させて、行動を判別するプログラムを開発し、野生ニホンザルの調査地に複数のカメラを設置して記録することで、いつ、だれが、何をしていたのかという行動データを自動で記録できる装置の開発を目指す。本研究は、まさに世界初の「AI 霊長類学者の誕生」を目指すものであり、研究者の時間や体力に制限されない新しい霊長類学を切り拓いていく挑戦的な試みになる。

3. 研究の方法

「AI 霊長類学者の誕生」を目指して実施した本研究は以下の6つに分けられる。

霊長類研究者がサルや動物の個体識別をする際にどのような手掛かりを利用しているのかを明らかにするための実験心理学的研究

野生ニホンザルの歩行様式に見られる個体差を検討するためのバイオメカニクス的研究

野生ニホンザルを撮影した動画からニホンザルを自動検出するためのアルゴリズムの提案

検出したニホンザルが動画の中で移動した際に、その個体を追いつける手法の提案

野生ニホンザル集団を対象とした個体識別のためのアルゴリズムの作成

野生ニホンザル集団を対象とした個体識別のための識別機の作成と現場への応用

4. 研究成果

霊長類研究者がサルや動物の個体識別をする際にどのような手掛かりを利用しているのかを明らかにするための実験心理学的研究

Ueno, M., Yamamoto, H., Yamada, K., & Itakura, S. (2021). Individual recognition of monkey (*Macaca fuscata*) and human (*Homo sapiens*) images in primatologists [Article]. *Journal of Comparative Psychology*, 135(3), 394-405. <https://doi.org/10.1037/com0000285>

霊長類研究者は、研究対象であるサルに繰り返し接することで、サルを1頭1頭区別して認識することができる。一方で、一般の成人にとってサルを個体識別することは大変難しいように思われる。霊長類研究者が、サルをどのように見ているのか、何を手掛かりとして個体識別を行っているのかについては、明らかになっていないことが多い。本研究では、アイトラッキング技術と二肢強制選択法を利用して、霊長類研究者と一般の実験協力者に対して人間やニホンザルの画像を提示して個体の区別を依頼することで、霊長類研究者の個体識別能力の特徴を検討した。結果、霊長類研究者と一般の実験協力者はともに人間の顔を高い精度で識別していたが、霊長類研究者は一般の実験協力者に比べて、初めて見るニホンザルの顔写真であっても、より正確に個体を区別することができていた。また、霊長類研究者は、顔だけでなく全身が写ったサルの画像が示されると、より正確に個体を区別することができたが、一般の実験協力者は全身が写ったサルの画像が示されても区別の正確さに違いは生じなかった。また、霊長類研究者は一般の実験協力者と比較して、全身像が提示された場合に、サルの顔以外の領域をより長い時間見ていた。さらに、研究経験の豊富な霊長類研究者(研究期間が長い研究者や研究対象としたサルの個体数が多い研究者)は、顔以外の情報を利用して個体を区別している傾向にあることが示された。以上のことから、AIによってサルの個体識別を進める際には、顔画像だけでなく、体の他の部位からの情報を利用することも有効である可能性が示唆された。

野生ニホンザルの歩行様式に見られる個体差を検討するためのバイオメカニクスの研究

Goto, R., Yamada, K., & Nakano, Y. (2022). Differences in the vertical components of substrate reaction forces between two modes of infant carrying in Japanese macaques (*Macaca fuscata fuscata*) [Article]. *American Journal of Physical Anthropology*, 177(2), 300-313. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24436>

ニホンザルの母親は、乳児を腹側または背側にのせて運搬する(「抱っこ」と「おんぶ」)。乳児の体重が増加するにつれて、乳児の運搬は、抱っこからおんぶへと移行する。ニホンザルを含むマカク属のサルは主に後肢で体重を支えることを好むため、この移行は前肢に作用する支持基体からの反力(SRFvrts)の垂直成分が弱まることと関連しているという仮説をバイオメカニクスの観点から検証した。(1)抱っこをしている時には、より高いSRFvrtsが前肢に作用する。(2)おんぶをしている時のSRFvrtsは、母ザルが単独で歩くコントロール条件と差がない、という2つの予想に基づいて検証を行った。1歳児を養育する野生ニホンザルの成体メス7頭を対象に運動力学的測定を行った。支持基体として地上またはポール上を歩行させ、前肢および後肢に作用するSRFvrtsを収集し、コントロール条件(単独歩行)、抱っこ条件、おんぶ条件の間で統計的に比較した。抱っこをしているときの前肢には、母と児の総重量で正規化した相対SRFvrtsが、支持基体の種類によらず、コントロール条件およびおんぶ条件に比べて高く作用していることが明らかになった。また、おんぶ条件の前肢のSRFvrtsは、コントロール条件と同様の値を示した。抱っこからおんぶへの運搬様式の移行は、前肢に作用する過剰な負荷を軽減する機能を持つ事が明らかになった。抱っこには、バイオメカニクスの不可が存在するにもかかわらず、霊長類においてこの運搬様式が進化している理由として、抱っこによって母親が乳児を捕食者から守りやすいなどの特別な利益が存在している可能性が示唆された。

野生ニホンザルを撮影した動画からニホンザルを自動検出するためのアルゴリズムの提案

Ueno, M., Hayashi, H., Kabata, R., Terada, K., & Yamada, K. (2019). Automatically detecting and tracking free-ranging Japanese macaques in video recordings with deep learning and particle filters [Article]. *Ethology*, 125(5), 332-340. <https://doi.org/10.1111/eth.12851>

野生ニホンザルを撮影すると、複数個体が体を接触させていたり、遮蔽物にサルが隠れたりなどして、自動でニホンザルを検出・追跡することは困難である場合がある。本研究では、深層学習とパーティクルフィルタアルゴリズムを用いて、野生のニホンザルを自動で検出・追跡する新しいアプローチを提案した。対象がニホンザルである尤度を算出し、パーティクルフィルタの観測モデルとして用いることで、画像中のサルの位置や大きさを予測した。観測モデルとして深層学習を用いることで、観測モデルを簡略化し、識別器の精度を向上させ

ることが可能になると予測した。本モデルを評価するために、野生ニホンザルの動画を用いて、サル身体領域を検出することができるかどうかを検討した。実験の結果、深層学習を観測モデルとして用いた我々の方法は、従来のサポートベクターマシンを用いた方法よりも高い追跡精度を持つことが明らかとなった。本研究が提案する手法は、野生ニホンザルの自動観察システムを開発するのに役立つことが示された。

検出したニホンザルが動画の中で移動した際に、その個体を追尾し続ける手法の提案
野生ニホンザルを撮影すると、複数個体が体を接触させていたり、遮蔽物にサルが隠れたりなどして、自動でニホンザルを検出・追跡することは困難である場合がある。本研究では、対象個体の追跡能力をさらに向上させるアルゴリズムの検討を行った。物体追跡に関しては、テンプレートマッチング、Mean-shift 法、KLT 法など様々な手法が存在する。本研究では、YOLO、時系列情報を扱える拡張カルマンフィルタ、畳み込み LSTM を用いた PredNet といったアルゴリズムを組み合わせて、大阪大学大学院人間科学研究科附属比較行動実験施設で飼育されているニホンザル 2 頭の動画データを利用して、追跡手法の精度を検証する実験を行った。検討の結果、PredNet で運動モデルを定めた方がランダムウォークよりも追跡の精度が高いことが明らかになった。今後は対象動物の複数追跡条件での追跡精度の向上を検討して行く必要がある。

野生ニホンザル集団を対象とした個体識別のためのアルゴリズムの作成

Ueno, M., Kabata, R., Hayashi, H., Terada, K., & Yamada, K. (2022). Automatic individual recognition of Japanese macaques (*Macaca fuscata*) from sequential images [Article]. *Ethology*, 128(5), 461-470. <https://doi.org/10.1111/eth.13277>

野生ニホンザルの映像を利用して AI が個体識別をする場合、画像が他の物体に遮蔽されたり、個体が動くことで顔の向きが連続的に変化したりするなど、さまざまな条件が自動識別技術の精度を下げる可能性がある。そのため、これらの技術の精度と頑健性を向上させる技術開発が必要となっている。私たちの研究では、ベイズ推定を用いて、過去の観察情報を現在の観察結果に反映させることで、野生ニホンザルの自動個体識別技術を改良した。51 頭の成体の静止画と動画を収集し、静止画像を使って GoogLeNet と ResNet-18 の畳み込みニューラルネットワークモデルを利用することで、8 つの個体認識システム（識別器）を作成した。さらに、86 本のビデオ撮影から 51 個体の顔の逐次データを収集し、逐次ベイズフィルタと識別器の組み合わせにより、各識別器で 90%以上の個体を正確に認識することに成功した。逐次ベイズフィルタを用いた識別テストでは、10 枚の画像を使用した場合、85%以上の個体が事後確率 90%以上で認識された。最も優れた識別器は、10 枚の画像で 98%の個体を、50 枚の画像で全個体を正確に認識した。また、逐次ベイズフィルタを適用しなかった場合に識別率が 50%未満のテストデータでも、逐次ベイズフィルタを使うことで個体を正確に認識することができた。これらの結果から、個体の過去情報を考慮した逐次ベイズフィルタを利用することで、AI による個体識別システムの精度を向上させるアルゴリズムを提案することができた。

野生ニホンザル集団を対象とした個体識別のための識別機の作成と現場への応用

ニホンザルをスマートフォンで撮影することで、個体の名前や特徴が表示されるシステムの構築を目指した。岡山県真庭市に生息している勝山ニホンザル集団の 118 個体を対象に、画像データを収集して、識別器の作成を行った。顔画像と全身画像を用いて、学習データに存在しないサル（未知個体）の個体識別が可能か検証を行った。もっとも良い結果が得られたのは顔画像を利用した場合と、サンプル間の類似度に基づいてクラスを分類する手法であるごとに分離されるよう深層距離学習（Deep Metric Learning）を用いた場合であった。未知個体に対する識別確率は約 4 割であった。未知個体の識別が可能になることで、AI による個体識別能力がより実践的に利用できる可能性が広がった。

本研究の実施期間中に新型コロナウイルスの流行があり、フィールドワークやフィールドに出向いての実地検証が難しい状況が続いた。しかし、本研究で開発した個体識別アルゴリズムを分散型 SNS で利用できるシステムを構築したため、我々研究者がフィールドに行けない状況であっても、個体識別が十分にできない現地の方々がこのシステムを使うことで、個体を識別し、アカンボウを出産した個体名や死亡した個体名など野生ニホンザル集団の管理に欠かせない情報を欠損なく、継続して記録することができた。本研究により、霊長類

研究者でない方々が、霊長類研究者のように個体識別をして、サルと関わるきっかけを作り出すことができた。

利用状況

- ▶ 公園管理者は、スマホから利用。
- ▶ 新型コロナの影響で大阪を出られない中、
個体確認に利用して頂いた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakamichi Masayuki, Ueno Masataka, Yamada Kazunori	4. 巻 62
2. 論文標題 Male care in a free-ranging group of Japanese macaques (<i>Macaca fuscata</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 971 ~ 980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-021-00948-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ueno Masataka, Yamamoto Hiroki, Yamada Kazunori, Itakura Shoji	4. 巻 135
2. 論文標題 Individual recognition of monkey (<i>Macaca fuscata</i>) and human (<i>Homo sapiens</i>) images in primatologists.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Psychology	6. 最初と最後の頁 394 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1037/com0000285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Goto Ryosuke, Yamada Kazunori, Nakano Yoshihiko	4. 巻 177
2. 論文標題 Differences in the vertical components of substrate reaction forces between two modes of infant carrying in Japanese macaques (<i>Macaca fuscata fuscata</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Journal of Biological Anthropology	6. 最初と最後の頁 300 ~ 313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajpa.24436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamichi Masayuki, Ueno Masataka, Yamada Kazunori	4. 巻 61
2. 論文標題 Triadic grooming among adult females in a free-ranging group of Japanese macaques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 593 ~ 602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00808-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田志歩・河村正二・山田一憲・白井 啓	4. 巻 36
2. 論文標題 高岩山自然動物園の再建に関する富津市への要望書提出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 霊長類研究	6. 最初と最後の頁 3~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2354/psj.36.004	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ueno Masataka, Hayashi Hidetaka, Kabata Ryosuke, Terada Kazunori, Yamada Kazunori	4. 巻 125
2. 論文標題 Automatically detecting and tracking free ranging Japanese macaques in video recordings with deep learning and particle filters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ethology	6. 最初と最後の頁 332 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eth.12851	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Kaigaishi, M. Nakamichi, & K. Yamada	4. 巻 60
2. 論文標題 High but not low tolerance populations of Japanese macaques solve a novel cooperative task.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 421-430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00808-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Nakamichi, M. Ueno, & K. Yamada	4. 巻 in press
2. 論文標題 Triadic grooming among adult females in a free-ranging group of Japanese macaques.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00808-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田一憲
2. 発表標題 ニホンザルの個体間距離にみられる地域間変異：密な社会と疎な社会
3. 学会等名 第16回人類学関連学会協議会合同シンポジウム「ソーシャルディスタンス」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上野将敬・山本寛樹・山田一憲・板倉昭二
2. 発表標題 霊長類研究者における個体識別能力の特徴
3. 学会等名 第35回日本霊長類学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 栗本英世、モハーチ・ゲルゲイ、山田一憲、小野田正利、綿村英一郎、山本晃輔、木村友美、宮前良平、野坂祐子、白川千尋	4. 発行年 2022年
2. 出版社 大阪大学出版会	5. 総ページ数 222
3. 書名 争う	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	久保 明教 (KUBO Akinori) (00723868)	一橋大学・大学院社会学研究科・教授 (12613)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺田 和憲 (TERADA Kazunori) (30345798)	岐阜大学・工学部・准教授 (13701)	
研究分担者	上野 将敬 (UENO Masataka) (30737432)	近畿大学・総合社会学部・講師 (34419)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関