

円山動物園の機能強化と先端技術による
新ビジネス創出に向けた技術確立のための調査研究

平成 30 年 3 月

一般財団法人 さっぽろ産業振興財団

目 次

1. はじめに

2. 今回の調査研究について

3. 動物の行動を把握するためのAIの適用～その実現可能性について～

一般財団法人さっぽろ産業振興財団 客員研究員

(特定非営利活動法人 EnVision 環境保全事務所 研究員) 長谷川 理

3-1. 動物の行動把握と、動物園における必要性

3-1-1. 動物の行動把握とは

3-1-2. 動物園で必要となる行動把握

3-1-3. 動物園での研究事例

3-2. AI を活用した画像解析による動物行動の把握

3-2-1. 人と動物の関わりからみた動物の分類

3-2-2. AI を用いて判別する対象

3-2-3. 個体識別や行動把握の実用例

4. 円山動物園の機能強化に向けたAI技術の活用

北海道大学大学院 情報科学研究科 教授 山本 雅人・准教授 飯塚 博幸

4-1. 円山動物園の機能強化に向けたAI技術の活用

4-1-1. 研究概要

4-1-2. 研究成果について

サブテーマ(1): オランウータンのトラッキングについて

サブテーマ(2): チンパンジーの個体識別とトラッキングについて

サブテーマ(3): ホッキョクグマの行動分類について

サブテーマ(4): ホッキョクグマのトラッキングと常同行動の検出について

サブテーマ(5): ホッキョクグマの授乳音の自動検出について

4-2 まとめ

5. 今後の可能性、実現性について

一般財団法人さっぽろ産業振興財団 客員研究員

(特定非営利活動法人 EnVision 環境保全事務所 研究員) 長谷川 理

5-1. 様々な動物種に応用する上での今後の課題

5-1-1. どんな動物に需要があるか

5-1-2. 動物園の動物の特徴と技術導入への留意点

5-1-3. 動物園の機能強化のための行動判別技術の課題

5-1-4. 社会行動の把握

5-1-5. 目的の明確化とシステム構築

6. まとめ

～新ビジネス創出に向けた可能性～

1.はじめに

人工知能(AI:Artificial Intelligence、以下 AI と記す)が注目を浴びるようになったのは、2017年1月に米 Google 社傘下の英 DeepMind 社が開発したコンピュータ囲碁プログラム「AlphaGo(アルファ碁)」が囲碁の世界トップを破ったためである。そして最近、同じく DeepMind 社が開発した「AlphaGo ZERO(アルファ碁ゼロ)」が、そのアルファ碁を破ったことから、さらに注目を集めている。

このようなトピック的な話題の他にも、AI と私たちの生活の関わり合いといえ、身近なところでは音声認識や自動運転、インターネットの画像検索やウェブページ検索、カスタマーセンターの自動応答等、すでにさまざまな場面があげられる。

今回の調査研究においては、環境エンリッチメントなど、近年飼育動物に対する新たな対応を求められている動物園において、AI を活用しその機能強化を図ることを目的とし、具体的には動物の行動の把握について AI を活用する試みを実施した。

2. 今回の調査研究について

札幌市では、AI、IoT、ビッグデータといった先端技術を生かした新たな価値を持つビジネスを次々と創出することを目指して、座学官連携による「札幌市 IoT イノベーション推進コンソーシアム」を平成 28 年 8 月に設立、昨年 6 月には専門部会として「Sapporo AI Lab」を立ち上げ取組を進めている。

数ある先端技術の中でも、昨今技術進展が著しい AI を活用した研究を進め、医療、福祉、畜産・酪農分野など様々な分野において、新ビジネス創出にもつながると期待されている。

一方、札幌市円山動物園（以降「円山動物園」と記す）では、平成 19 年 3 月に「札幌市円山動物園基本構想」策定し、円山動物園の役割として「札幌市の環境教育の拠点」、「北海道の生物多様性確保の基地」「多様なメッセージを発信するメディア」の 3 点を掲げ、その実現に向けて平成 20 年 8 月に「札幌市円山動物園基本計画」を策定し、平成 29 年 2 月には北海道大学獣医学部と連携協定を締結し取組を進めている。

こうした AI を活用した取組と円山動物園の取組及び相互の背景を活かし、カメラやマイクなどの IoT 機器を活用し収集した膨大なデータを、AI 技術で解析することで、詳細な動物行動の分析・記録が可能となり、円山動物園の種の保存に向けた調査研究機能の強化や環境教育での活用といった相乗効果が期待される。

こうした状況を踏まえ、札幌市円山動物園の協力のもと、当財団と北海道大学大学院 情報科学研究科の山本雅人教授と飯塚博幸准教授が共同研究という形で本調査業務を実施した。

自律系工学研究室では様々な形での AI 研究を進めており、本調査業務と同時期に韓国で開催された平昌五輪においては、同研究室で開発中のカーリング戦略 AI「じりつくん」を使い、新聞紙上でカーリング競技の試合結果の分析を行うなど注目が集まっている。

本調査研究業務では、本財団客員研究員の長谷川理が動物行動に関する概説と AI 活用に係る今後の可能性について。また、山本・飯塚両氏が取り組んだ内容と結果および考察についてを、3・3 章にまとめた。なおこの部分については専門的知識を基にした記述が必要とされるため、山本・飯塚両氏にて書き下ろしたものを、両氏承諾の上、掲載している。

目指すところとしては、「Sapporo AI Lab」が有する市内 IT 企業の先端技術力と、円山動物園、北海道大学大学院情報科学研究科の有する学術的知見および飼育環境等のリソースを活用した座学官の組織横断的連携により、円山動物園の機能強化と、先端技術による札幌発の新ビジネス創出に向けた学術面・技術面からの可能性および具体的手法の調査研究を目的とする。

3. 動物の行動を把握するためのAIの適用 ～その実現可能性について～

3-1. 動物の行動把握と、動物園における必要性

3-1-1. 動物の行動把握とは

動物の行動を把握するにあたってエソグラムを作成することは、動物行動学(エソロジー)の研究分野において歴史のある研究手法である。エソグラムという用語は、狭義にはある行動の頻度分布のことをさすが、広くは「行動目録」として、さまざまな行動のリストのこと呼ぶ。

エソグラムが非常に細かく作成されている代表的な生物としてタンチョウがあげられる(Masatomi & Kitagawa 1975)。たとえば、首の角度、翼の位置、脚の上げ下げなど、体の部位がどういう状態にあるのかを細かく分類し、その上で求愛や、営巣、闘争、採餌といった各行動を定義している。うえで、姿勢や動作をどう判定するのか客観的な基準を設けることによって、様々な行動を定義するため、異なる観察者や対象個体の間でも正確な比較研究が可能となる。エソグラムは様々な動物種に対して作成されており、世界中で研究がさかんなチンパンジーでも膨大な行動目録が作成されている(Goodall 1988)。研究の目的に応じて、行動を判断する基準が考えられているため、エソグラムの内容も対象動物によって多岐にわたる。ツルやチンパンジーのように行動をかなり細かく分けている場合もあれば、もっと単純に“餌を食べている”、“歩いている”、“寝ている”など、大まかに分けているだけの場合もある。

3-1-2. 動物園で必要となる行動把握

様々な野生動物種を飼育する動物園には、高い水準の動物福祉への配慮が求められる。動物福祉の評価の仕方としては、たとえば飼育個体の健康状態を診察したり、採血してホルモン分泌量を測定したり、繁殖の成否で判断したりと様々であるが、行動も判断基準となる。たとえば一日の間に見られる行動をタイプ分けし、その時間配分を調べることで、飼育個体が健康な状態で暮らしているかどうか判断する。そのため動物園では様々な行動を観察して把握することが不可欠である。

早期に発見し何らかの対処が求められるのが「異常行動」である。怪我や病気の兆候を見つけることができれば、適切な診断や治療も可能となる。一概に異常行動といっても、非常に多様な行動が知られている(図 1)。必ずしも急な処置を要しない場合もあるが、摂食障害や過剰な毛繕い、自傷行為などは、エスカレートすれば大きく健康を損なう恐れがある。また、異常な親子関係や幼児性、性行動、攻撃行動などは、かりに健康上の問題が少ない場合であっても、長期的に健全な飼育状態を維持したり、来園者に対して展示したりする上では好ましいとはいえず、改善が求められる。ひたすら同じ場所を繰り返し行き来したり、同じ行動を頻繁に繰り返したりする「常同行動」も、できるだけ発現する長さや頻度を減らすことが望ましい。

近年の動物園は、「環境エンリッチメント」を施すことで、動物の飼育状態の改善をはかっている。環境エンリッチメントとは、動物が本来とる行動を引き出すために、飼育施設に行う工夫のことで、たとえば餌を探すことや食べることに長い時間を費やすよう餌の与え方を工夫したり、自然に近い環境を作って本来の動作を引き出したり、複数個体で飼うことにより社会的な行動をとれるようにしたりすることである。環境エンリッチメントによって動物福祉の状態がよくなっているかどうか、その効果を推し量るためには、行動をしっかりと観察し、定量的に評価することが求められる。

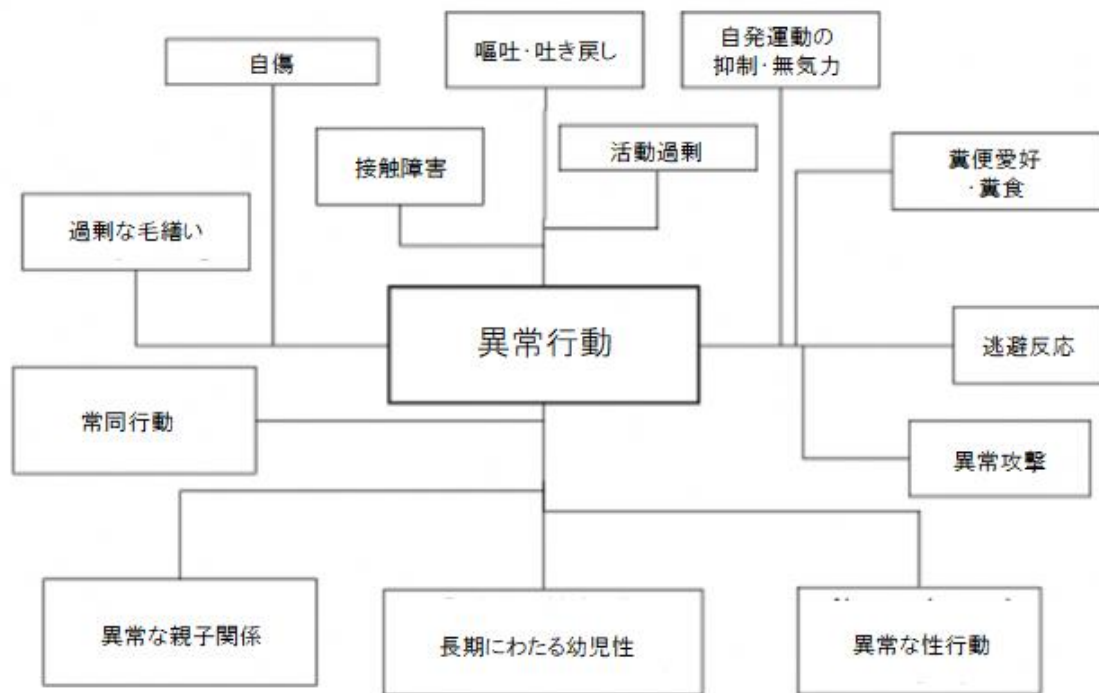


図1 飼育下で見られる様々な異常行動

環境エンリッチメントに期待されるのは、常同行動をはじめとする異常行動を減らすことだけでなく、望ましい行動または自然な行動を増加させることも含まれる。たとえば、できるだけ採食行動をとる時間を長くすることで常同行動の発現時間が減るとか、あるいは休息時間を長くすることが落ち着いて安全に暮らすことにつながるという場合もある。また、求愛行動や配偶行動を特定できれば、飼育個体の繁殖を進めるうえで、ペアリングさせる個体間の相性を把握したり、繁殖タイミングを推測したりするために有効である。妊娠の兆候や子育ての状況を行動から判定することで、適切な飼育サポートを施すことが可能となる。それゆえ、自然行動(図2)を観察し理解するということは、異常行動と同様の重要性を示す。

野生下で生息する個体は、非常にバリエーションに富んだ行動パターンを見せる。一方で、飼育下の個体は行動のバリエーションが少ない。環境エンリッチメントの効果をはかる指標として、行動のバリエーションを増やすこと、または自然下で見られる行動とできるだけ同じような行動をとれるようにすることがある。こうした行動のバリエーションの多様化を指標にするためには、できるだけ多くの自然行動のパターンを認識し、判断できることが求められる。

加えて、昨今の飼育管理には、飼育個体ごとの個性や特性を把握することも求められる。とくに複数個体を飼育する場合には、個体間の相互関係、たとえば敵対行動や階層関係の有無、社会の構築状況を把握することも重要である。

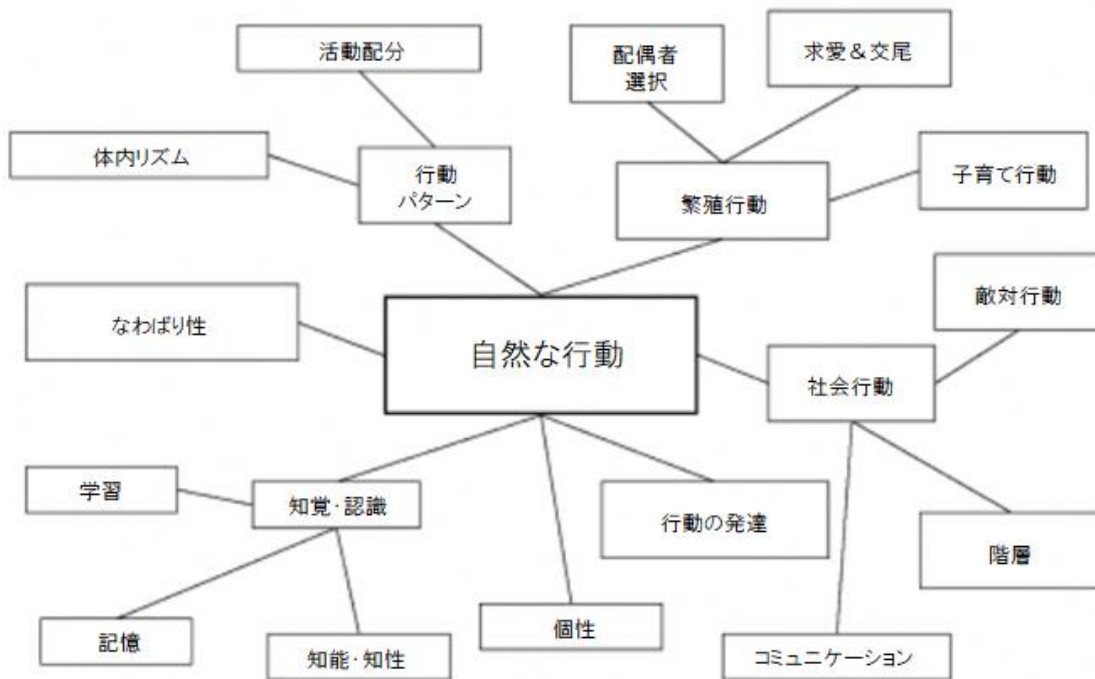


図 2 飼育下で見られる様々な自然行動

3-1-3. 動物園での研究事例

動物園で行われた動物福祉に関する研究をいくつか紹介する。アジアゾウの環境エンリッチメントの評価の研究では、異常行動だけではなく、様々な行動の時間配分が調べられている(Rees 2009)。そのなかで採食行動と常同行動の相関関係が目にとまる。アジアゾウでは、採食行動が増えることで常同行動が減るという関係が明らかとなったため、常同行動を減らすために、いかにして採餌行動を増やすかということが、一つの指標となった。

チンパンジーを対象とした研究(落合・松沢 2001)では、飼育空間に構造物を作り、立体的に動けるよう施した際に、行動がどのように変化したのかが調べられている。チンパンジーの行動を、“食べる・飲む”、“横たわる”“社会的グルーミング”“位置移動”などのいくつかのタイプに分類し、それぞれ高さ4メートル、8メートルという立体構造物を段階的な設置に伴って、それらの行動がどう出現・変化したのか評価した。また、飼育舎の中のどういう場所を使っていたのか、空間利用も把握した。結果、高い構造物ができるにつれて利用空間が広がり、それに合わせて行動バリエーションが増加したことが示された。このように行動を判別して解析すれば、環境エンリッチメントの導入効果について科学的な評価が可能となる。さらに、この研究では、野生のチンパンジーの行動研究と比較することを重要視した。チンパンジーは野外研究のデータが豊富にあるため、それらの研究と、飼育下の状況を比較することができる。飼育個体を、より野生の行動に近づけることを目標とするためには必要なアプローチである。

こうした動物園での調査研究は、これまで飼育員や獣医師による、地道な直接観察あるいは録画映像の観察によって調べられてきた。行動観察には膨大な時間を要するため、行動パターンの抽出や分析をAIで簡略化することが叶えば、大幅な手間の削減になるとともに、より客観的な評価が可能になることが期待される。

【参考文献】

- Masatomi & Kitagawa 1975, *Bionomics and Sociology of Tancho or the Japanese Crane, Grus japonensis*, II. Ethogram, Journal of the faculty of science Hokkaido University Series VI. ZOOLOGY, 19(4)
- Goodall 1989, Glossary of chimpanzee behaviors, The Jane Goodall Institute (田中・松沢訳, 1992, 霊長類研究 Primate Res. 8: 123-152)
- Rees 2009, Activity budgets and the relationship between feeding and stereotypic behaviors in Asian elephants in a zoo. Zoo Biology, 28: 79-97
- 落合・松沢 2001, 飼育チンパンジーの環境エンリッチメントを目的とした木製構造物の導入とその評価, 動物心理学研究 51, 1, 1-9

3-2. AIを活用した画像解析による動物行動の把握

3-2-1. 人と動物の関わりからみた動物の分類

動物に関係した分野の中で、AI 技術をどのようなことに活かすことができるのか、まずは人と動物との関わり方から考える。

人間が飼育する動物を、人間との関わり方から分類すると図 3(左)のようになる。まず一つ目は、ペットなどの“伴侶動物”。これまでは愛玩動物と呼ばれ方が一般的だったが、近年は伴侶動物やコンパニオンアニマルと呼ばれ、より家族の一員として位置付けられている。次に“使役動物”。畑を耕したり、荷物の運搬に使われたりするウシやウマがこれにあたる。最近では国内では使役用の動物はほとんど見られないが、海外に目を向ければ、今でもラクダやゾウなどが、人や物資の運搬に使われている。人間の仕事をサポートするという意味では、盲導犬や警察犬なども使役動物に含まれる。続いて、マウスやラットなどの“実験動物”。主に医学や薬学分野で用いられる。ウシ、ブタ、ニワトリなどの“畜産動物”は、肉、牛乳、卵など食料生産用の動物である。そして最後に、“動物園動物”がある。本来は野生下に生息する“野生動物種”であり、人間が飼育を目的として維持したり改良したりしてきた動物ではないが、飼育動物の範疇に入る。近年、こうした飼育動物に対しては、飼育の目的や飼育状況により幅はあるものの、すべからず動物福祉への配慮が必要とされている。

一方で人間が飼育しないのが“野生動物”である(図 3(右))。一口に野生動物といっても多種多様であるが、人間の関わり方による特徴で分類してみると、たとえば個体数の減少により絶滅が危惧され、人間による保全活動が必要とされる“希少動物(絶滅危惧種)”がある。また、野生動物の中には、人間との軋轢解消や人間社会への被害対策が必要なものもある。農業や漁業被害を生じさせたり、人間にとって危険な存在であったり、生態系を攪乱させたりといった種がそれにあたる。また、人獣共通感染症を持ち込む可能性のある外来生物などに対しても対策が必要とされる。

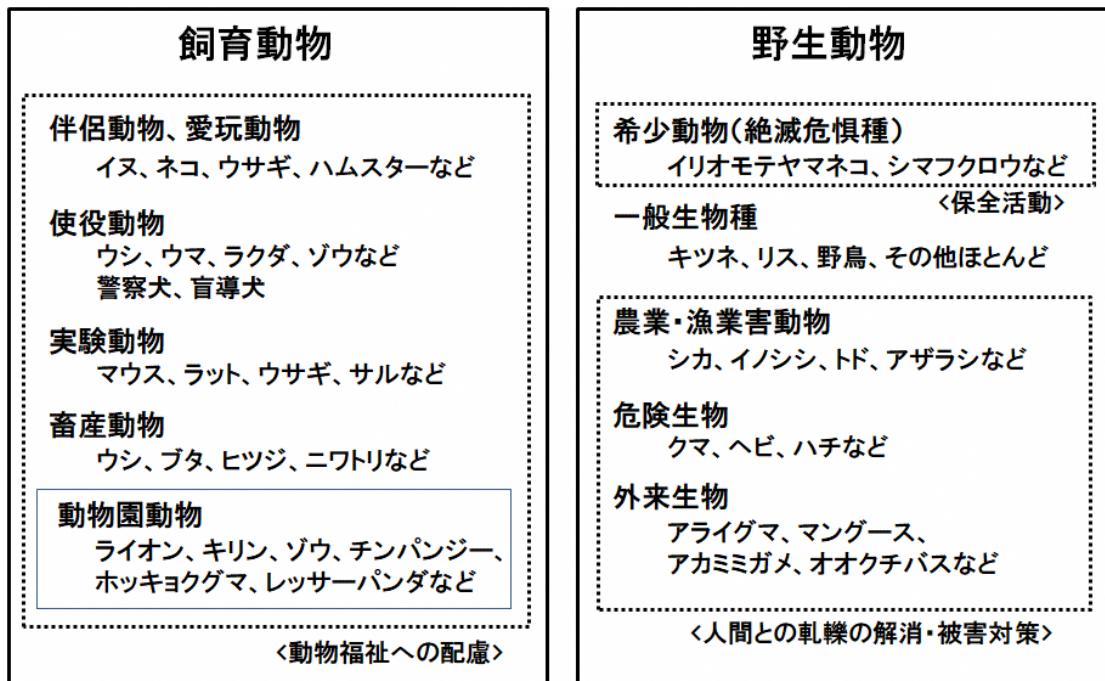


図 3 人間との関わり方による動物の分類

3-2-2. AI を用いて判別する事象

続いて、AI 技術によってどのような事象を判別するのかを考える(図4)。飼育動物なのか野生動物なのかによって目的は異なるが、判定する項目(種なのか、個体なのか)も多岐にわたる。

たとえば、動物種がなんであれ、生物の存在や接近を識別できればよいという状況もあるだろう。田畑や人家への侵入を判断することが必要な場合などは、シカであろうとサルであろうと、動物種がなにかに関わらず接近や通過を判断できればよい。

次に、動物種の判別が必要な状況である。野生動物の獣害対策では、ときに種を選んで捕獲したり、追い払いをしたりする必要がある。この場合には、アライグマなのかタヌキなのかといったように、動物種が判別できればよい。

次に、個体数を把握したい場合。どのタイミングで罠を作動させるかといった限定的な目的があれば、罠のなかに何個体が侵入したのか判別して、適切な作動タイミングを計算することが求められる。動物園では、どの動物種が飼育されているか、何頭飼育されているかといったことは自明のため、上記のような判別が求められる機会は少ないだろうが、牛や豚など多数の個体を同時に飼育するような畜産で、放牧を行う場合などは、頭数の自動カウントが必要となることもあるだろう

個体識別は、様々な状況で必要とされる。野生動物の調査はもちろん、多数の飼育を行う畜産業において、あるいは動物園でも複数個体を飼育する際には必要とされる。飼育下では管理タグなどを装着することもできるが、外見や行動から個体判別ができれば有用な場合もあるだろう。

個体を識別するだけでなく、その個体にまつわる情報、たとえば雌雄や年齢、あるいは体重や健康状態などを知りたいという状況もある。毎回のように捕獲して計測することができればよいが、たいていの場合には不可能であるため、外見から判別できると非常に有用である。とくに野生動物に対して、捕獲することなく、個体の特徴が判別できることは非常に有意義である。

社会性の把握も重要である。個体識別ができていうえで、さらに各個体を連続して追跡できれば、個々の個体間の社会関係、たとえば親子関係や、繁殖ペアの関係なども判別できる。野外環境に

かぎらず飼育下でも大きな重要性が考えられる。たとえば一見すると一つの群れに見える集団にも、社会構造があるかもしれない。10頭の群れを一つの群れとみなすのか、あるいは3～4頭のグループから構成されているのか。8頭の群れと、2頭の単独個体がかもかもしれない。そうした社会構造の理解が必要な場合もある。

画像・映像からの判別項目
1. 接近・侵入の有無、距離
2. 種の判別
3. 個体数の計測
4. 個体識別
5. 個体情報の推定(体長、体重、雌雄、齢など)
6. 行動の判別
7. 社会性(種間、個体間の関係)の把握

図4 画像解析によって判別が期待される対象

3-2-3. 個体識別や行動把握の実用例

個体ごとに違いが見られる身体的な特徴は、動物種によって様々に異なる。数多くの動物に対し、個体の識別に使える特徴は古くから研究されてきた。

代表的なものとして、シマウマやヒョウ、アザラシの体の模様、ケープペンギンの腹部の斑紋などがあり、これらの動物に対しては、すでに画像解析による自動判別の試みが進められている。コウモリは、翼の部分の骨の角度や長さ、血管などを対象として、指紋を判別するようなやり方で自動判別が実施されている。チンパンジーでも、顔の様々な部位を対象に解析が行われている。

ホッキョクグマについては、マニトバ大学の研究グループが個体識別の判別プログラムを作成している。いろいろな部位が判別対象となっているが、顔にある傷や斑点などが個体識別の特徴として用いられている。この研究は、“WILDBOOK”というプロジェクトの一環で、ホッキョクグマ以外にもホオジロザメの鰭の形から個体を識別するなど、多数の動物種に対する識別が実行されている。ヒレの形や切れ込みの大小など対象としてディープラーニングの手法が導入されており、野外で撮影された画像の、撮影距離や被写体の角度など諸々の撮影条件の違いを補正する仕組みも開発されている。

以上のように、動物の個体識別のポイントは古くからいろいろと知られているため、野外の動物に対しても、すでにAI導入の対象となっているようだ。

行動を自動で判定するという試みは、実験動物を対象に非常に進んでいる。治療法や薬などの開発研究に用いられるマウスやラットに対しては、総合的な研究装置が、解析用のシステムとしてすでに開発されている。こうした室内実験を必要とする医学や薬学の研究分野では、実験室や研究室といった安定した室内環境で映像を撮影できる。動物の真上にカメラを設置したり、至近距離で撮影したりするなど条件を整えやすく、観察対象個体を入れて特定の行動を観察するためのフィールド装置なども一連のシステムとして構築されている。こうしたシステムはアメリカやオランダなど世界各地の企業が開発し、日本でも販売されている。

マウスやラットの行動判別については、たとえば体の部位を判定し、頭やしっぽの位置認識することで、動作を判別・抽出するといったことがAI技術によって行われている。“立ち上がって水を飲む”、“体を掻く”、“毛繕いをする”などの行を自動的に抽出できるうえ、個体の位置情報も把握して、それを行動パターンとともにログを記録し、最終的にはヒストグラムやグラフとして分析してアウトプットするまでの一連の流れが全て自動でできるよう構築されている。全体の装置を含めてシステム化されていることが特徴で、一部のシステムは研究論文として報告されており、人間の観察による行動の判別と、コンピューターを用いた判別を比較して、精度を検証している。

行動の自動判別は、伴侶動物用にも開発されている。ペットの行動を検知して外出先からスマートフォンに情報を送るという機能を謳った防犯・見守りカメラ設備がいくつかすでに販売出されている。また、畜産種でのAI技術の応用として、は、牛の歩行行動から病気を判断するシステム、大規模な養鶏場の中で弱ったまたは死んだニワトリを発見して自動回収するシステムなどが構築されている。

4-3. 円山動物園の機能強化に向けたAI技術の活用

北海道大学大学院情報科学研究科 教授 山本雅人・准教授 飯塚 博幸

4-3-1. 研究概要

本報告書は「新ビジネス創出と円山動物園の機能強化に向けた技術確立のための検討会」における主に技術面に関する研究成果をまとめたものである。計 3 回の検討会における具体的な報告内容は議事録、および、添付資料を参考にさせていただきとして、本報告では、計 3 回の検討会の内容をまとめて概要を報告する。

本検討会では、円山動物園の機能強化に向けて、主に以下のサブテーマについて検討をおこなった。主な目的は、飼育動物の体調管理に向けた異常検出、および、環境エンリッチメントの効果を測定するための行動検出を行うことで動物エソグラムの自動作成等を目指すことである。

- (1) オランウータンのトラッキングについて
- (2) チンパンジーの個体識別とトラッキングについて
- (3) ホッキョクグマの行動分類について
- (4) ホッキョクグマのトラッキングと常同行動の検出について
- (5) ホッキョクグマの授乳音の自動検出について

以下では、それぞれのサブテーマについて検討内容と研究成果の報告を行う。

4-3-2. 研究成果について

サブテーマ(1): オランウータンのトラッキングについて

円山動物園におけるオランウータンは、基本的に一頭ずつそれぞれの獣舎で飼育されている。そのため、オランウータンの動きをカメラのみから抽出する際には、個体識別をする必要はなく、動く物体を検出しながら追跡(トラッキング)を行えば良い。個体識別を伴わないトラッキングは容易に実現可能であるため、まずはオランウータンのトラッキングに関する技術の検討をおこなった。オランウータンの獣舎において、カメラを図 1 のように観覧スペースのガラス内側に固定設置し、なるべく死角のないように獣舎全体を捉えることができるようにした。

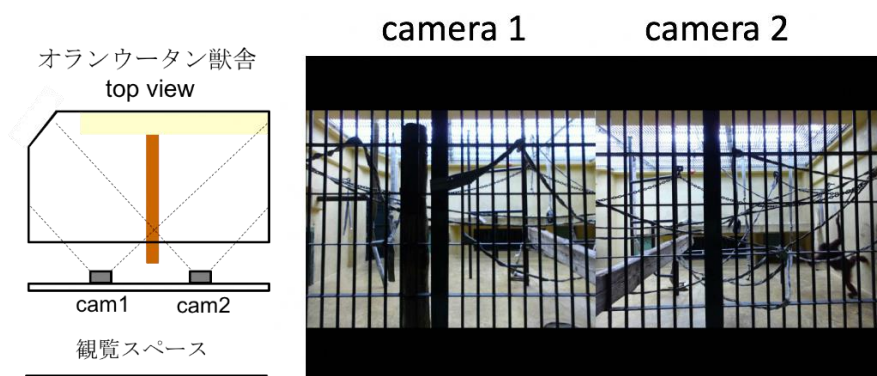


図 1 オランウータン獣舎におけるカメラ配置の上面図と 2 台のカメラの画像

ハヤトという一頭のみのおらんウータンの中心をトラッキングすることで、獣舎内をどのように動き回っているのかを知ることができる。ただし、カメラの奥行き情報は今回は扱っていないため、2次元的なトラッキング結果となっている。

図2はトラッキングの様子(上方2枚の画像)と観測した5時間の間にオランウータンがいた場所を一定時間(0.2秒)毎にプロットした図である。

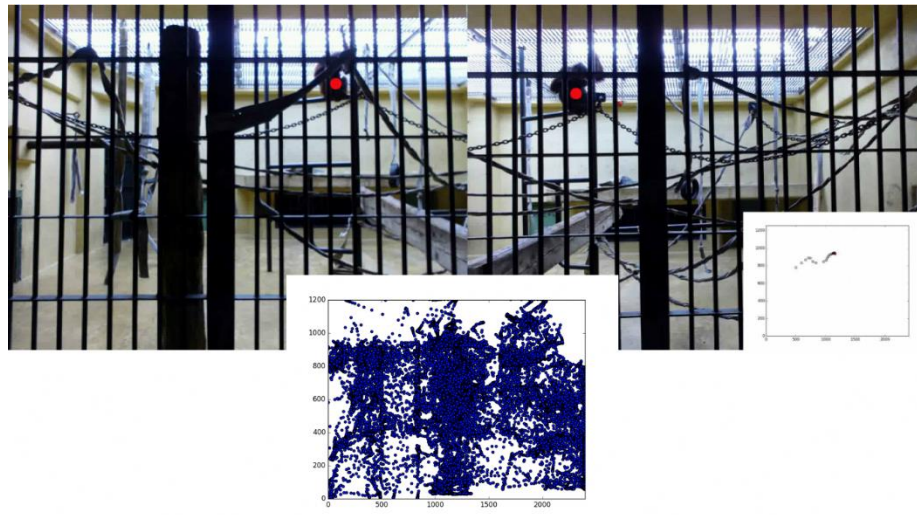


図2 トラッキングの様子とトラッキング結果

この図のトラッキング結果からわかるように、オランウータンは、獣舎内を比較的にまんべんなく動き回っていることが伺え、あまり地面にいることは少ないことがわかる。また、中央の柱に滞在することが多い傾向も見られた。

より詳細にトラッキングデータを分析するため、一時間毎に主にオランウータンがどこに滞在していたかをヒートマップで表したものが図3である。

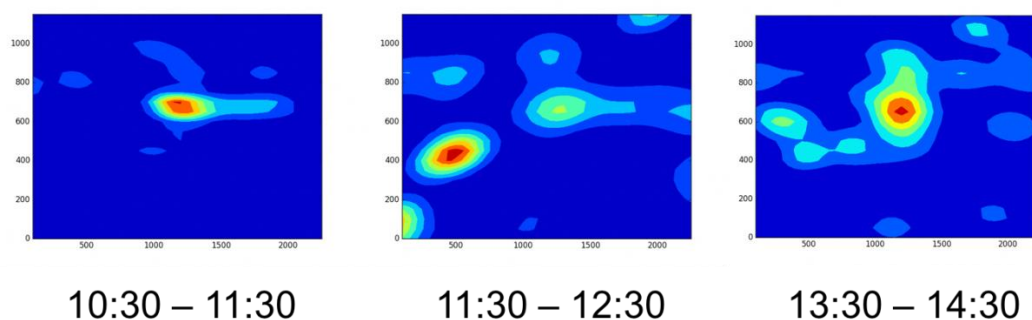


図3 1時間毎の滞在ヒートマップ

また、20分毎に分析したヒートマップを図4に示す。

図3、図4から、ある時間間隔で動きの様子をみると、獣舎内を適度に動き回っていることが分かり、特に繰り返しや周期的な振る舞いはみられないことがわかる。

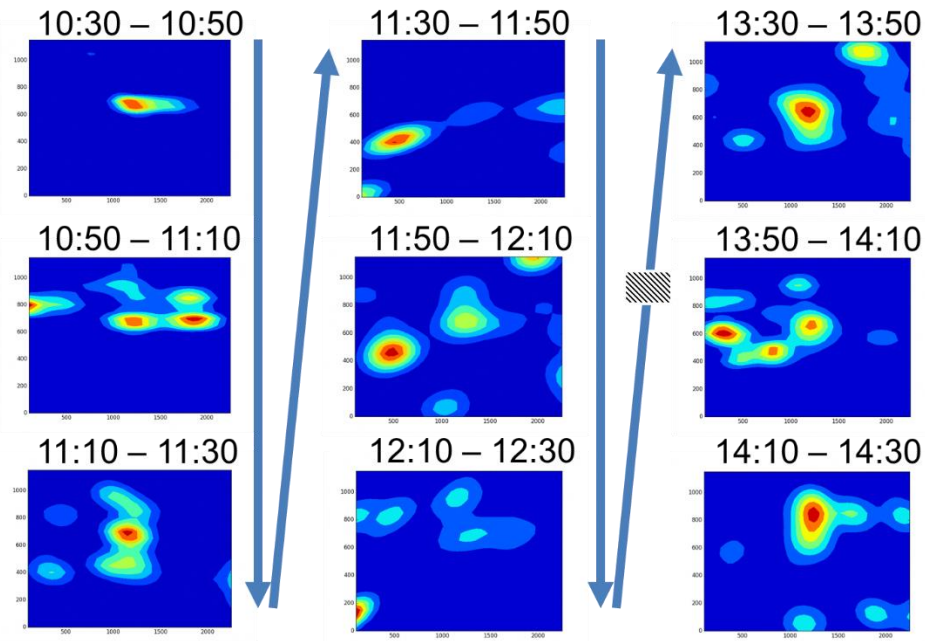


図 4 20 分毎の滞在ヒートマップ

また、オランウータンの中心位置が抽出されているため、フレーム間の移動量を計算することができる。これを 1 分単位で集計することで、1 分間の移動量が時間とともにどのように変化するかを知ることができる。図 5(左)は 1 分間の移動量の変化を示したグラフ、図 5(右)は 20 分間の移動量の変化を示したグラフである。

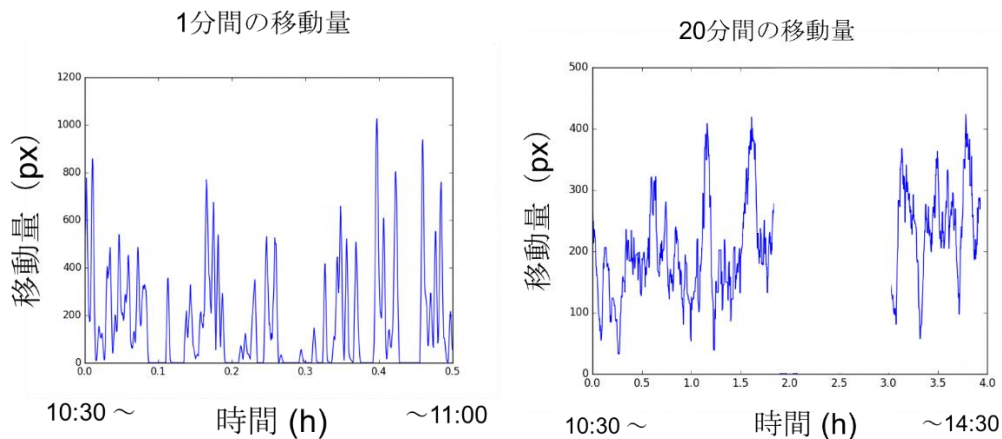


図 5 1 分間の移動量の時間推移(左)、20 分間の移動量の時間遷移(右)

図 5(右)の途中 1 時間が測定できていないのは、今回の撮影環境において獣舎に日差しが照りつけたことによる逆光のため、トラッキングに失敗していたことが理由であった。

図からわかるように分析の時間間隔を自由に設定することで、オランウータンの短期的スパン、長期的スパンの移動量を知ることができる。これにより、ある時間帯に極端に移動量が大きくなったり、まったく移動していない、などの特徴を捉えることが可能となり、オランウータンの体調管理に役立てられる可能性を示した。

一方で、3 次元方向のデータを取るためのカメラ配置や台数の検討、また、日差しが入ることによる

トラッキング失敗についての対策なども必要なことがわかった。

サブテーマ(2): チンパンジーの個体識別とトラッキングについて

一頭で飼育されている動物のトラッキングは比較的容易であるが、一般に動物園では複数で飼育されている動物も数多く存在する。そのような動物においては、ある個体がどのような動きをしているかを把握する必要がある。例えば、種全体としては良く動いているが、ある個体のみ体調不良のためまったく動いていない、といった状況を捉える必要があるためである。

このような飼育環境における動物見守りを実現するため、チンパンジーの飼育環境において個体識別とトラッキングが可能であるかについて検討をおこなった。

(a) 個体識別について

まず、チンパンジーの個体識別が可能なのかどうかについて検討するため、個体毎に収集した画像をもとにディープラーニングの技術を用いて個体識別(分類)が可能かの検討をおこなった。円山動物園におけるチンパンジーの獣舎は、冬期間は図 6 のような獣舎で 9 頭のチンパンジーが飼育されている。



図 6 チンパンジー獣舎の様子

この獣舎内に 1 頭のオス、8 頭のメスがおり、飼育員の方はある条件の下では概ね識別できるとのことである。この獣舎において、動物園のある休園日の 90 分間を対象として、個体毎に数多くの写真を撮影するため、図 7 のように各チンパンジーに対して 1 名の撮影者を割り当て、10 分間その個体を追い続けながら撮影を続けることで多くの写真を入手した。ただし、カメラの性能差や個人の撮影の癖などの影響を少なくするために、10 分毎に撮影する個体を変更して、1 名が 9 頭のチンパンジーをもれなく撮影する工夫をおこなった。



図 7 チンパンジー撮影の様子

このようにして、各個体について 257 枚～828 枚の画像を入手した。撮影枚数に差があるのは、撮影した 90 分間に行動の個体差があり、ある個体は上の柱台の上でずっと寝ているなど、データとしてふさわしくないものなどを取り除いたことによるものである。

図 8 はこのようにして撮影した画像の例である。



図 8 チンパンジーの取得画像

これらのデータをディープニューラルネットワークに学習させるため、訓練データと学習に使用しないテストデータに分け、訓練データで学習をおこなったあとに学習がうまくいっているかについてチェックするためにテストデータの正解率で評価をおこなった。

学習に用いたディープニューラルネットワークは図 9 のような一般的な構造をもち、入力として 128[pixel]×128[pixel]の画像を用い、9つある出力は9頭いるチンパンジーのそれぞれである確率を出力する構造をもっている。

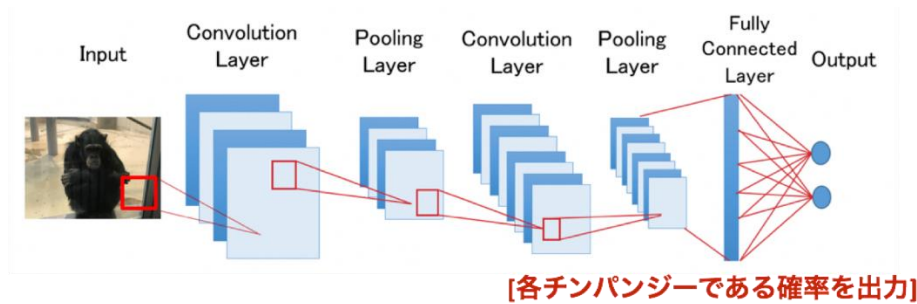


図 9 ディープニューラルネットワークの構造

学習が進むにつれて、各個体の識別率が向上していく様子を示したのが図 10 である。

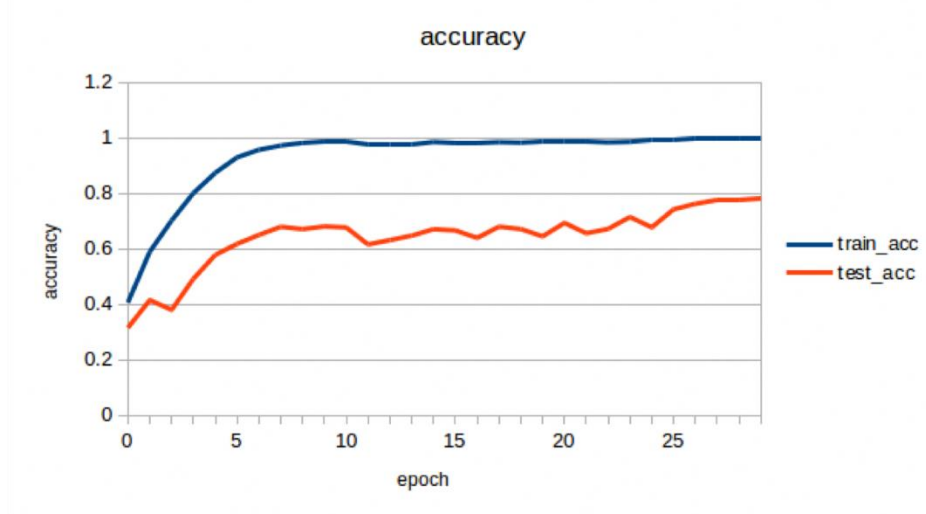


図 10 個体識別に対する正解率の推移 (青: 訓練データ、赤: テストデータ)

学習エポック(訓練データのすべての画像を一度入力して学習をすることを 1 エポックと呼ぶ)が進むにつれて訓練データの正解率が上昇し、ほぼ 1 となっていることがわかる。また、テストデータに関しても、約 80%ほどの正解率となっていることがわかる。9 頭をランダムに出力した場合の正解率が 11%であるため、これと比較しても個体識別がそれなりにできていることが示された。

一方、訓練データの個体毎のばらつきや、行動の個体差、撮影条件の変更に対する頑健性、など考慮すべき課題も明らかとなった。

(b) 個体識別とトラッキングの同時実行

前項でチンパンジーの個体識別はある程度可能であることがわかったが、実際に、チンパンジーを見守っているカメラ画像からチンパンジーの行動の様子を把握するためには、個体識別とトラッキングを同時に行う必要がある、

図 11 は、その様子を示した図で、入力された画像から後述する YOLO と呼ばれる技術を基礎として、画像内に映っている個体毎に枠で囲うなどしたものを出力することが目標である。

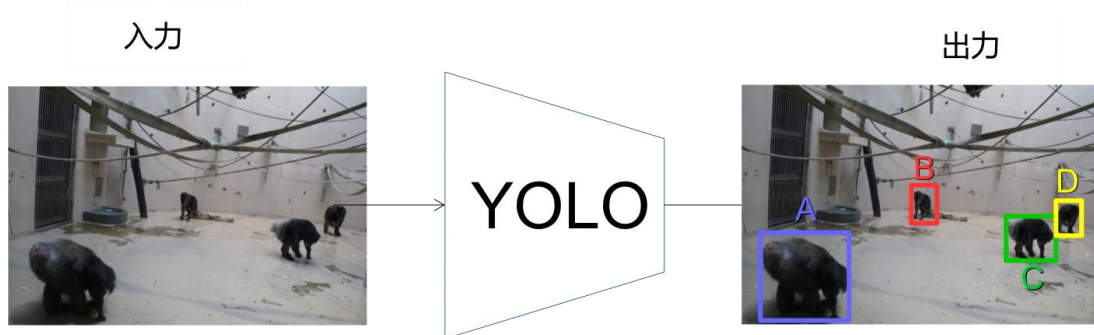


図 11 個体識別とトラッキングの同時実行の様子

この目的のため、YOLO (You Only Look Once) と呼ばれる技術を基礎として開発をおこなった。数時間の動画データから実際に用いたのは、比較的各個体が活発に動いている時間の約 14 分間の動画データである。1 秒間に 5 フレーム(画像)であるフレームレート 5[fps] のデータを使用したため、結果的に約 4000 枚の画像からなる。

学習を評価するための 300 枚のテストデータ(画像)を除く 3765 枚の訓練データを用いて図 12 のような 31 層をもつ yolo-voc と呼ばれるディープニューラルネットワークモデルと同じ構造のネットワークにより学習をおこなった。訓練データは 1 枚 1 枚、どこにどの個体が映っているかを人手によっておこなったため、この作業のために一人で 5 時間以上かかった。

layer	filters	size	input	output
0	conv	32	3 × 3 / 1	416 × 416 × 32
1	max		2 × 2 / 2	416 × 416 × 32
2	conv	64	3 × 3 / 1	208 × 208 × 64
3	max		2 × 2 / 2	208 × 208 × 64
4	conv	128	3 × 3 / 1	104 × 104 × 128
5	conv	64	1 × 1 / 1	104 × 104 × 64
6	conv	128	3 × 3 / 1	104 × 104 × 128
7	max		2 × 2 / 2	104 × 104 × 128
8	conv	256	3 × 3 / 1	52 × 52 × 256
9	conv	128	1 × 1 / 1	52 × 52 × 128
10	conv	256	3 × 3 / 1	52 × 52 × 256
11	max		2 × 2 / 2	52 × 52 × 256
12	conv	512	3 × 3 / 1	26 × 26 × 512
13	conv	256	1 × 1 / 1	26 × 26 × 256
14	conv	512	3 × 3 / 1	26 × 26 × 512
15	conv	256	1 × 1 / 1	26 × 26 × 256
16	conv	512	3 × 3 / 1	26 × 26 × 512
17	max		2 × 2 / 2	26 × 26 × 512
18	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
19	conv	512	1 × 1 / 1	13 × 13 × 512
20	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
21	conv	512	1 × 1 / 1	13 × 13 × 512
22	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
23	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
24	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
25	route	18		13 × 13 × 1024
26	conv	64	1 × 1 / 1	26 × 26 × 64
27	reorg		/ 2	26 × 26 × 64
28	route	27 24		13 × 13 × 256
29	conv	1024	3 × 3 / 1	13 × 13 × 1024
30	conv	70	1 × 1 / 1	13 × 13 × 70
31	detection			

図 12 ディープニューラルネットワークの構造

その結果、図 13 のように動画内に映っているチンパンジーに対して、トラッキングと個体識別を同時に行っている様子がわかる。



図 13 個体識別とトラッキングの同時実行

ただし、今回の実験では、ところどころ個体識別が間違っていたり、検出された個体が頻繁に入れ替わるなどが見られ精度の向上が必要であることがわかった。

精度向上のための対策として、前後フレームにおける検出結果を利用したり、時系列データとして複数の画像を入力したりすること、および、訓練データを増やす、などが考える必要があることが明らかとなった。

サブテーマ(3): ホッキョクグマの行動分類について

オランウータン、チンパンジーについては屋内の獣舎の外側にカメラを設置し撮影をおこなったが、屋外での撮影環境での動物の見守りが可能かを検討するため、平成 30 年 3 月にオープンしたホッキョクグマ館を対象として、トラッキングや行動分類を行うことが可能かについて検討した。特に、ホッキョクグマの常同行動と呼ばれる同じ行動を周期的に何度も繰り返すような動物として好ましくない行動を自動検出するために、ホッキョクグマの行動分類が可能かについて検討をおこなった。

ホッキョクグマ館は図 14 のように屋外に設置されたカメラが 4 台あり、ホッキョクグマの行動範囲を網羅するように設置してある。



図 14 ホッキョクグマ館の様子 (1 台のカメラ)

監視カメラの映像からトラッキングソフトによってホッキョクグマをトラッキングし、ホッキョクグマが映っている部分を抜き出すことによって動画データを作成した。例えば、図 14 の赤い枠で囲われた領域

を約 2 秒間のフレームすべてを抜き出した。

また、分類する行動については、飼育員の方と事前に相談し、まずは「静止」「歩く」「走る」「寝る」「遊ぶ」の 5 行動について分類することを試みた。その結果、2 秒毎に分割された図 15 のような動画データを各行動 130 個ずつ 5 行動分作成した。そのうち、8 割を訓練データ、残り 2 割をテストデータとして評価に用いた。

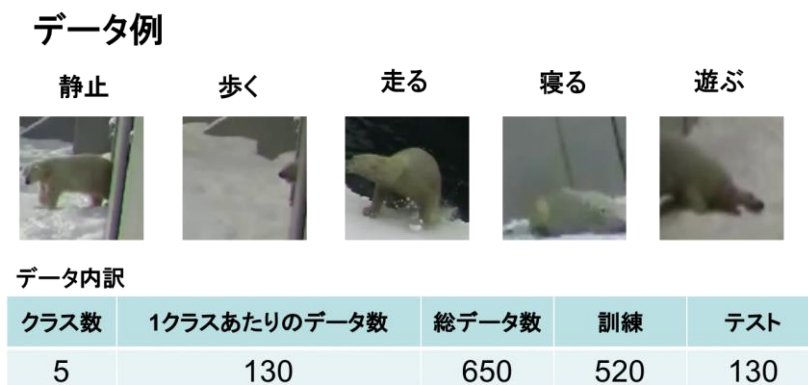


図 15 行動に関する動画データの例

学習の際には、双方向 LSTM (Bidirectional Long Short-Term Memory) と呼ばれる手法を用いて、動画データの各時刻における画像を入力し、Convolutinal Neural Network (CNN: 畳み込みニューラルネットワーク) を介して、双方向 LSTM へ情報が伝わる。動画データには、事前に人手によって付けられたタグ(正解の行動)が与えられているため、訓練データの情報を用いて学習を行う。双方向 LSTM では、各時刻における画像に対して最も可能性の高い行動が出力されるため、2 秒間すべてのフレーム(画像)に対して、最も多かった行動を動画データの行動として出力する(多数決方式)。その出力を正解に近づけるようにニューラルネットワークの重みを更新する学習を行う。

バッチサイズ 1 の学習を 100 回行うことを 1 ステップと定義し、ステップ数の増加に対する行動分類の正解率の推移を示したのが図 16(左)である。また、ニューラルネットワーク(双方向 LSTM)がどの行動をどの行動と分類したのかを示したのが図 16(右)である。

図から、テストデータに対して 90% 以上の正解率となっていることがわかる。したがって、2 秒間の動画データからホッキョクグマの行動分類は可能であるとの結果を得た。ただし、一方で、日が異なると分類精度が低下することもわかり、訓練データ数の増加や複数の撮影日によるデータ収集、遊ぶという行動の多様性からくる精度低下、などの問題が明らかとなった。

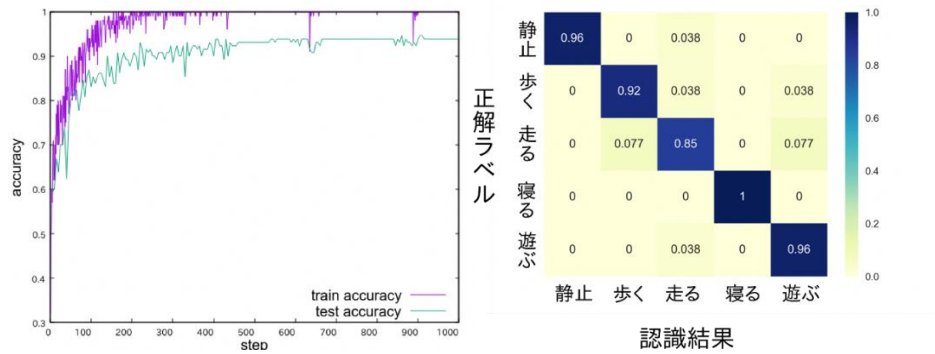


図 16 行動分類の正解率の推移(左)、分類結果と正解との関係(右)

サブテーマ(4): ホッキョクグマのトラッキングと常同行動の検出について

ホッキョクグマはストレスなどが原因で常同行動と呼ばれる動物によって好ましくない行動をとる場合があることが知られている。動物などの飼育動物では、環境エンリッチメントと呼ばれる飼育環境をより動物にとって魅力的なものとする事で常同行動などが出ないように適切な飼育環境を提供することが求められている。

(3)で検討したような行動分類に基づく常同行動の検出も考えられるが、一方では、トラッキングデータのみからも常同行動を検出できる可能性があることを踏まえ、トラッキングデータのみからの常同行動検出について検討をおこなった。

まずは、トラッキングデータを分析することで、ホッキョクグマの行動範囲を可視化する方法について検討した。図 17 は 2 月 14 日に撮影したホッキョクグマの 2 台のカメラから撮影された場所における行動領域をヒートマップにより表示したものである。

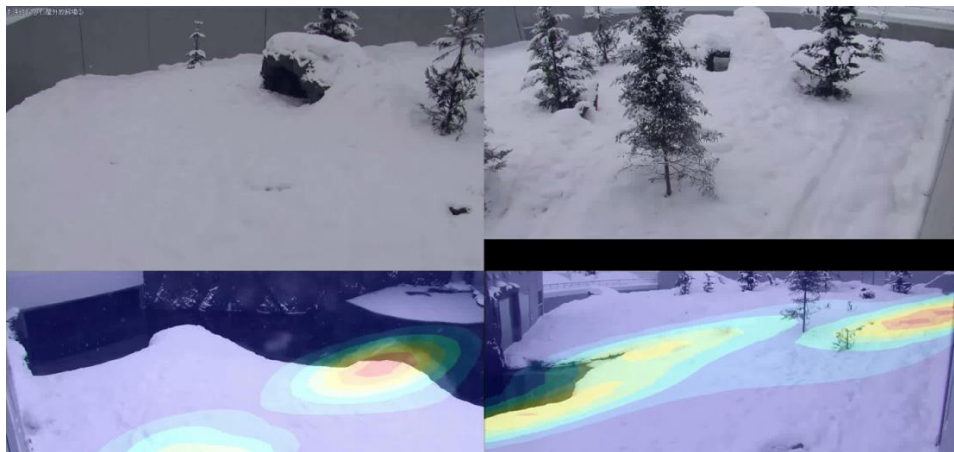


図 17 ホッキョクグマの行動範囲の可視化(2月14日)

また、図 18 は同じく 2 月 16 日の行動を可視化したものである。

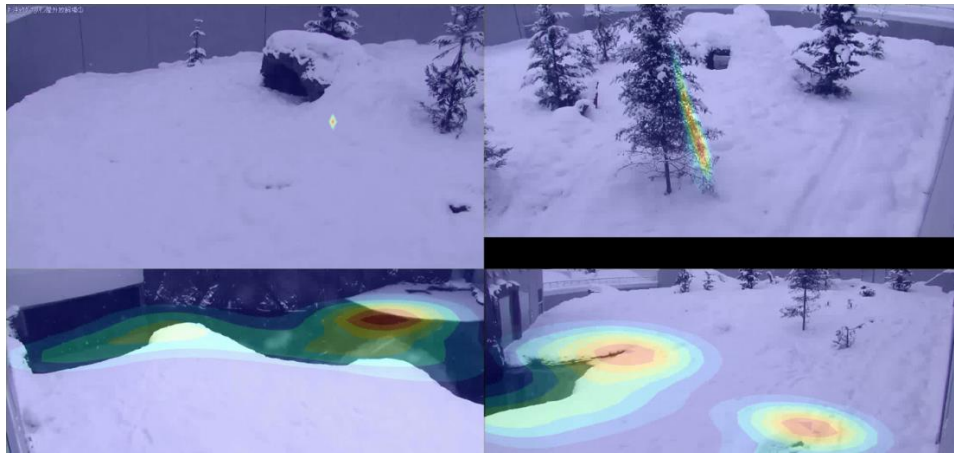


図 18 ホッキョクグマの行動範囲の可視化(2月16日)

これらの図から、日によって行動範囲が異なることが容易に理解できる。例えば、ホッキョクグマの前日の行動などをこのような可視化によって直感的に捉えることが可能であることがわかったことは意義深い。

ただし、この撮影日におけるデータの中にも、鳥が外部から飛んできたり、観覧者の動きによってトラッキングがうまくできない時間帯が存在したため、実用化に向けてはこのようなホッキョクグマ以外の動きを排除するための工夫が必要であることもわかった。

トラッキングデータにより、ホッキョクグマの位置が取得できるため、常同行動として、ある2点をおこなったり来たりする行動などがよく見られた。これらを検出するため、位置を領域に区切って、その領域間の移動が繰り返されたことを検出する非常にシンプルなアルゴリズムを適用することで、常同行動の検出が可能かについて検討をおこなった。

図 19 は 4 台のカメラで常同行動の疑いがありと検出された部分を色で示したグラフである。線が見える時間帯が常同行動と思われる箇所であり、動画確認したところ、概ね常同行動と考えられる行動が見てとれた。

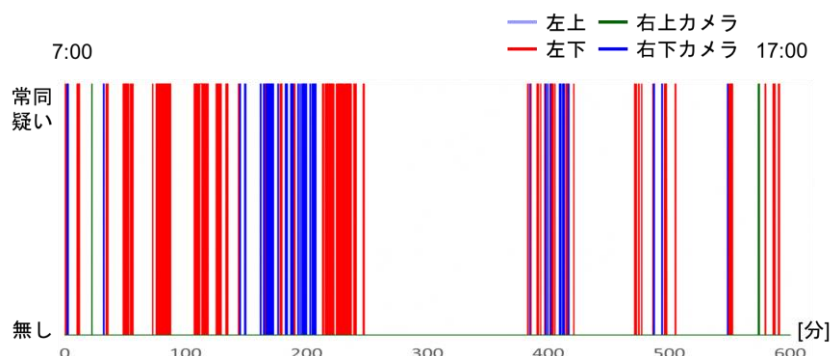


図 19 常同行動の疑いありと検出された時間帯

ただし、今回は飼育員の方の事前の検討で、2回以上同じ行動を繰り返すことを常同行動として定義して検出をおこなった。しかし、検討会の中でもう少し複数回の繰り返しを検出した方が良いのではないかと意見もあり、常同行動の定義は重要な課題であることもわかった。また、図 20 のようにホ

ツキョクグマが水中にいることを検知することも可能であることがわかった。

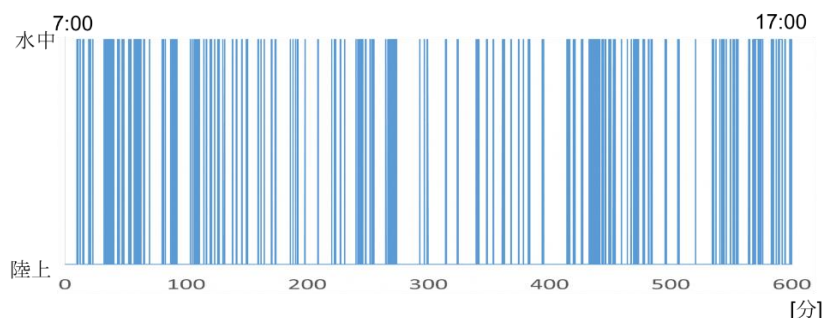


図 20 ホッキョクグマが水中にいたと思われる時間帯

以上より、トラッキングデータのみからでも十分常同行動を自動検出することが可能であることが明らかとなった。ただし、常同行動の定義に強く影響を受けるため、常同行動の定義については今後も検討する必要があると考えられる。

サブテーマ(5): ホッキョクグマの授乳音の自動検出について

これまで動物の様子を見守るために画像や動画のみを用いてきた。これは、動物に対するストレスを与えることを避けるために、動物などにセンサを付けることなく外部のカメラなどからの情報のみで動物の様子や異変を検知しようという狙いがある。その立場から考えると、音声も重要な情報として考えることができることから、本検討会でも音声による分析の可能性について検討をおこなった。

具体的には、子供のホッキョクグマが親のホッキョクグマから授乳を受けているときの音を自動検出できるかどうかについて検討した。動物園では、子供のホッキョクグマがきちんと授乳できていることを確認するため、毎朝、前日の夜からの録音データを飼育員の耳で確認して、授乳していると思われる時間帯の動画データなどとともに授乳の確認をしており、非常に手間のかかる作業となっている。そのため、授乳音を自動で検出することができれば、授乳音と思われる部分のみ飼育員の方が確認すれば良く、日頃の飼育管理にとって有用であるとのことである。こういった背景から、自動で授乳音を検出できるかについて実験をおこなった。

図 21 は、事前に飼育員の方によって授乳音であると認識されている音声データを音声スペクトログラムと呼ばれる手法により画像化したもので、この画像データを畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて学習し判別をおこなった。

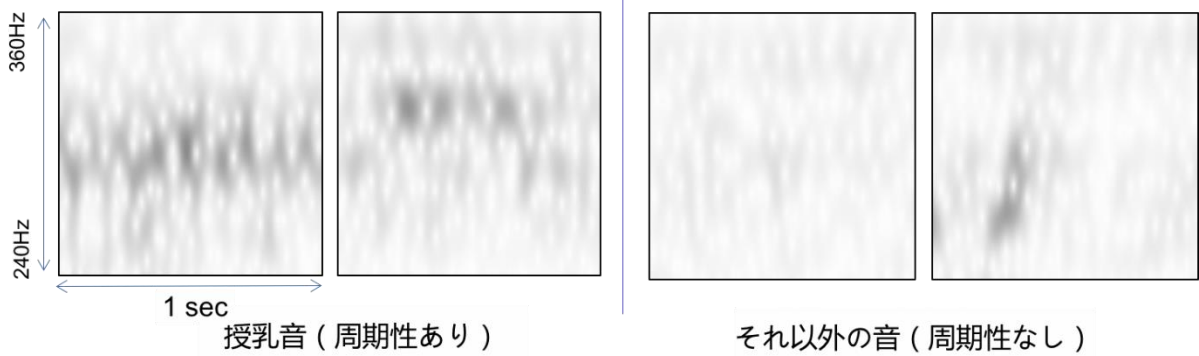


図 21 授乳音と非授乳音の音声スペクトログラム

音声データは、授乳音を含む 10 分程度のデータであり、授乳音が 240～360Hz 付近の周波数をもつことが知られているため、この範囲の周波数を 1 秒毎に区切り、Constant-Q 変換により画像化したものを入力とする。

事前に、授乳音と授乳音でない部分の音声データをタグ付けしておきそれに基づいて学習をおこなった。その結果、学習済み CNN によって未知のデータであるテストデータについても、95%程度で判別できるようになり、既に十分実用性があるレベルであることがわかった。

また、図 22 はある時間帯について、授乳音が検出された時間帯と実際に授乳している時間帯を比較したものである。

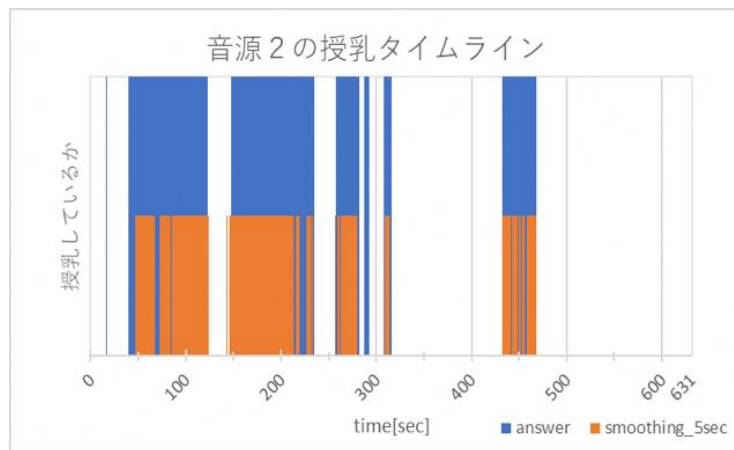


図 22 ある時間における授乳音の検出結果 (青:正解、橙:検出結果)

図からわかる通り、ほぼ実際に授乳している正解の時間帯に授乳音ありと検出できていることがわかる。一方、複数の個体 (例えば双子の子供) が同時に授乳しているときの検出などは困難かもしれないが、検出が可能／困難な条件などについても検討する必要があることが明らかになった。

4-3-4 まとめ

本検討会で得られた成果をまとめると以下のように要約できる。

- ・動物に対してセンサを付けることなく画像や動画、音声を利用して動物の行動を見守るシステムの構築に向けて、その実現可能性について検討した。
- ・1 個体で飼育されている円山動物園のオランウータンなどの環境では、トラッキングのみで存在位置を検出し可視化することで、行動範囲の時間変化や移動速度などの情報を得ることができることがわかった。
- ・複数の個体が同時に飼育されているチンパンジーでは個体識別とトラッキングを同時に行う必要があり、データの多様性や数を増やすことで十分可能であることが明らかになった。
- ・主に屋外で飼育されているホッキョクグマにおいては、動画データから主な行動(今回は 5 行動)の分類が可能であることがわかった。
- ・ホッキョクグマのトラッキングデータのみからでも、行動範囲の可視化や常同行動の検出が可能であることが明らかになった。
- ・ホッキョクグマの授乳音の音声データを学習することで、音声の時系列データから、授乳音がしていると思われる時間帯の自動抽出が可能であることがわかった。

また、一方で、実用化に向けて、撮影環境／条件、データの質・量、検出したい行動や音声などの定義、などの影響についても引き続き検討する必要があることが明らかとなった。今回の検討により、これらの課題の解決に取り組み、実用化の際の細かい調整を行うことで。実際に動物園の機能強化に結びつける可能性が大いにあるとの結論を得ることができた。今回の成果が有用となる日は近いと考えている。

【参考文献】

- [3] Hinton GE, Salakhutdinov RR., “Reducing the dimensionality of data with neural networks.”, Science, Vol. 313, pp. 504-507 (2006)
- [4] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”, NIPS'12 Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 1, pp. 1097-1105 (2012)
- [5] Sepp Hochreiter, Jurgen Schmidhuber, “Long Short-Term Memory”, Neural Computation Vol 9, No. 8, pp. 1735-1780 (1997)
- [6] 岡谷貴之, 画像認識のための深層学習, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 6, pp.962-974(2013)

5. 今後の可能性、実現性について

5-1. 様々な動物種に応用する上での今後の課題

5-1-1. どんな動物に需要があるか

人間と関わりのある動物は様々だが(図 3-2-1)、AIの技術を応用する対象として、どのような動物に需要があるだろうか。

まず、飼育個体数の多い種に対して高い需要が見込まれる。伴侶動物(ペット)のなかではイヌ、ネコ、実験動物であるマウス、ラット、そして畜産動物のウシ、ブタ、ニワトリなどが、品種に違いがあるとはいえ、同一種としての飼育個体数が抜きんでおり、個体識別や行動判別の需要が高いと考えられる。一方、野生動物でも、個体数の増加によって農業被害や漁業被害が深刻化している種、たとえばシカやイノシシ、アザラシ、トドなどに対して、産業的な需要があると考えられる。

これらの動物のなかで、多数をまとめて飼育するウシ、ブタ、ニワトリなどの畜産種や、群れで出現するシカやサルなどの野生種に対して、個体識別へのAI技術の導入が期待される。畜産現場では、飼育個体にタグをつけるといった手法がとれるため、画像による識別の必要性は限定されるだろうが、トレーサビリティや品質管理の面から個体ごとの飼育管理の必要性は高まっており、将来的な需要は増すのではないかと思われる。

伴侶動物・愛玩動物は、一般的にそれほど多頭飼育をすることがない(多数のネコを飼育する場合もあるだろう)ので、畜産種に比べると、飼育現場ごとの個体識別の必要性は高くないだろう。とはいえ、ペット産業の規模の大きさから鑑みて、販売業者やペットショップ、または各自自治体における管理・登録体制の強化のためにも、個体識別技術の発展が必要かもしれない。

捕獲が難しい野生動物については、画像を用いた個体識別への期待が非常に高く、実際に様々な野外研究で導入が進んでいる。農業や漁業への獣害対策においては、被害が軽減されればよいというため、必ずしも個体識別が必要とされるわけではない(接近の有無や動物種が判別できればよい)が、無秩序な捕獲や駆除を避けるためには、適切な個体識別の導入が求められる。たとえばヒグマの出没に際し、同じ場所に執着している個体なのか、あるいは偶発的に通りすぎただけの個体なのかを判別することは、近隣住民への危険度の判断材料ともなるため、適切な対応に貢献できると考えられる。

行動の判別については、マウスやラットといった実験動物を対象に、医学や薬学といった分野ですでに産業的な導入が進んでいる。イヌやネコなど伴侶動物に対しても、今後いっそう行動判別するシステムの導入は進むだろう。たとえば、防犯用のカメラなどの多様化や低価格化が進むとともに、留守中にペットがどのように過ごしているかを見守るシステム、とくに異常行動を素早く検知するような監視システムの開発・普及が進むと考えられる。畜産動物においても、特徴的な行動から発病個体を特定したり、繁殖や出荷などの最適なタイミングを判断したりといった需要に対してAI技術の導入が進むと思われる。

5-1-2. 動物園の動物の特徴と技術導入への留意点

動物園は、様々な種類の動物を飼育しているが、動物種あたりの飼育頭数が少ないことが特徴である。そのため、一種類に対してAI技術の応用を進めたとしても、同じ動物園内において適用できる個体は少ない。動物園での利用を浸透させるには、国内外のいくつもの動物園で広く飼育されている共通の種を対象に、他園館における展開を想定する必要がある。同じ動物種が飼育されている場

合でも、飼育舎の面積や構造物といった飼育環境が動物園によって異なるであろうことから、画像や映像の撮影方法をはじめ、飼育状況ごとに修正適用が必要になる。

また、様々な動物種への汎用性を高めることも有効だろう。たとえばホッキョクグマで構築した技術を、ヒグマやツキノワグマ、マレーグマ、パンダなどといった近縁種または類似種に適用できれば、対象範囲は広がるだろう。できるだけ多様な動物種を対象として技術を確立させることで、一つの動物園内で複数の種について実用できるし、他園館での実用化も見込まれる。いずれにせよ、汎用性の高い技術開発と柔軟な対応が必要だと考えらえる。

動物園へのAI導入の主要な目的は、動物福祉の充実である。様々な飼育動物のなかでも、より動物福祉の向上が求められる種への適用が求められる。たとえばゾウやキリンのように体が大きく行動スペースがどうしても狭くなってしまう種や、本来は群れで暮らすにも関わらず単独で飼育されることが多い種、人為的な構造物に対してストレスを感じやすい種など、動物種ごとの動物福祉の需要を把握する必要があるだろう。AI技術がより効果を発揮できる対象種と手法を検討することが、技術導入と展開が必要だろう。

動物福祉の改善の試みは、動物園以外にも適用できるかもしれない。たとえば、アジアゾウなどは現在でも東南アジアをはじめ世界各地で使役に用いられているが、なかには劣悪な状況で飼われている場合もある。そうした飼育状況の改善に寄与できるよう、使役動物に対する動物福祉の在り方、改善案を動物園を通じて提案することは、世界の動物福祉の改善に貢献できるだろう。

一方、動物園で実験的にAI導入して、伴侶動物、実験動物、畜産動物への適用を目指すことも可能ではあろう。しかし、動物園動物は産業振興のための実験動物ではない。そのため、動物園動物を対象とした実験的な試みには細心の注意が必要だと思われる。産業動物への利用を念頭に置くのであれば、最初から伴侶動物、畜産動物、実験動物などを対象として実験的・試験的な試みを行い、技術を確立するほうが効率的かつ実践的である。むしろ他の産業動物や愛玩動物を対象にして確立された技術を、動物園動物のために応用するという流れのほうが望ましいのではないだろうか。動物園で飼育される野生動物種を、新たな技術開発のための実験対象とするには、明確な社会的貢献への意義づけを考える必要がある。

野生動物種を飼育する動物園の社会的な役割としても最も重要な点は、野生動物の保全に貢献することである。動物園動物を対象とした技術確立を、野外に適用していくことは、現代の動物園が掲げる理念とも合致し、社会的にも理解が得られると考えられる。それゆえ動物園以外への応用としては、野生動物種を中心に想定することが必要である。

5-1-3. 動物園の機能強化のための行動判別技術の課題

AI技術を用いて動物福祉を向上させるには、異常行動だけではなくて、自然な行動、一般的な行動を見分けて解析する必要がある。たしかに異常行動を判別することは重要だが、めったに生じない行動について、AIに学習させるための教師データを取得するのは困難であるため、AI技術の導入にも限界があるだろう。生成頻度の少ない行動の検出を目的とするよりは、むしろ自然な行動の中から判別できる行動タイプを増やし、それらを適切に評価するほうが有用ではないだろうか。判別する行動のレパートリーを増やすためには、行動判別の手法にも工夫を加える必要がある。

動物の行動の中には、一瞬の観察からでは意味づけが難しいものが数多く存在する。例えば「転位行動」と呼ばれる行動がある。“威嚇”や“怒り”を表現する行動のなかに、毛繕いをしたり、あくびをしたりといった、休息時に見られるような行動が含まれることがある。しかしこうした行動を一連の流れ

のなか判断すると、決して休息しているわけではなく、「威嚇」や「争い」といった状況が継続していることを判断する重要な行動要素である。一方で“求愛行動”のなかに、相手に噛みつくなどといった攻撃的な行動が見られることも少なくない。これらも一連の「求愛」を理解する大事な要素である。そのため、一瞬の行動を判別できるだけでは、行動の意味付けまで判断することはできない。たとえば“地面をつつく”とか“穴をほる”といった行動を認識できたとしても、それが、餌を探している行動なのか、ストレスからくる行動なのかは判断できない。

一瞬の画像や映像として切り取っただけでは判断できない行動については、一連の流れを総合的に評価する必要がある。たとえば二頭のシカが争う際に、最終的には角と角を強くぶつけ合う激しい闘争になる場合もあれば、途中でやめる場合もある。一連の争いの途中に、二頭が並んで歩くという行動が見られる。このシーンだけを切り取ってみると、一見、仲よく並んで歩いているように見える。しかし実は、互いに威圧して自分を大きく見せたり、横に並ぶことで相手の接近を牽制したりしている。つまり闘争の一つの表現手段としての行動なのである。こういう場合には、この並行して歩くという行動の前後に生じた行動をあわせて、その行動を「闘争」だと解釈することが必要となる。

一方、一連の行動で意味を理解しつつも、やはり個別の詳細な行動の判別もまた必要もある。たとえばアジアゾウが求愛から交尾に至るには、様々な行動が連続的につながっている。一連の行動としてすべて「求愛行動」とくくってしまうことは可能だが、しかし最終的にマウンティングや交尾に至る場合もあれば、求愛のポーズを示すだけで、途中でと終わる場合もある。どのようなステップまで行動が進んだのかというのは非常に大事な判別であり、たとえば繁殖行動の季節的な進行状況や、繁殖ペアの関係性の進展を把握することに不可欠である。

以上のように、行動には瞬間的に判別できるものもあれば、ある一定の長さの中でしか判別できないものもある。そのためAIを用いた技術を確立する上でも、どのくらいの長さの画像・映像サンプルを用いるのか、一枚の画像なのか、2秒間の動画なのか、5分間、あるいは1時間の連続撮影なのか。目的とする行動によってサンプリング方法を検討する必要がある。

本事業で行われたホッキョクグマの行動判別の試みの中でも、「遊び」という行動の意義づけを、短いスパンの行動から判別するのが困難であった。行動判別において、一瞬の「姿勢」や「動作」には、できるだけ意味を持たせないというやり方もある。たとえば「座っている」、「ジャンプする」、「寝転ぶ」など動作だけを判別しておき、それらの一連の判別行動の流れや組み合わせから、「遊び」といった行動の意味を判断するのである。一つ一つの動作に大きな意味はないが、飛んだり跳ねたり寝転がったりと様々な行動が連続して出現することを「遊び」として判別するなど、組み合わせに意味を持たせて判別するという応用も検討が必要だろう。

あるAIがある動作や行動を判別できるようになれば、さらにその個々の行動の測定方法についても検討が必要となるだろう(図 1)。行動の頻度も意味のあるデータになる。例えば、ある行動が1、2回起こっただけなら問題はないが、かなりの高頻度で起こると問題となるような場合がそれにあたる。それから持続時間。同じ行動でも持続する時間の長さによって、意味が変わってくる。例えば、ただ歩いているだけなら問題がないが、長い時間ずっと歩き続けていると常同行動と考えられるかもしれない。また、ある行動が1回だけでもかなり大きく起こるものとそうではないものもあって、強度ということも考えられる。たとえば「闘争」という行動も、程度の小さなもんあれば、大きな怪我を伴うような強い反応が起こる場合もある。

行動が、どういう場所で起こるかということも重要な場合がある。

行動の測定

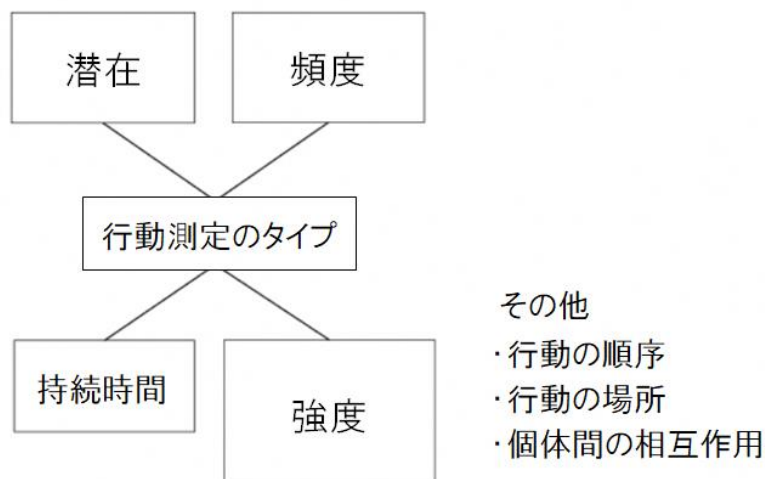


図-1 行動測定のタイプ

また、野生下での行動と比較することも重要である。たとえば飼育下でもできるだけ多様な行動が生じるように環境エンリッチメントを施したり、野生下で見られる“自然な”行動を発現させたりするためには、そもそも現時点で飼育下で見られる行動を判別できるだけでは不十分である。野生個体を観察し分析することにより、現状の飼育個体で確認されていない行動を把握し判別可能な対象行動としてレポートに加えておかなければ、そうした行動の出現を検出したり、比較したりすることはできない。今後は、飼育個体だけでなく、野外個体の映像データを入手して分析し、エソグラムの内容を強化しておく必要がある。

5-1-4. 社会行動の把握

複数で飼われている場合には、個体間の相互作用の把握も重要であり、社会行動を把握することに AI 技術の応用が期待される。

社会関係を把握するには、まず個体を識別し、それぞれの個体間の距離をはかる、あるいは個体の近接アプローチを解析する。Aという個体がBのほうに近寄っていく場合、逆にBがAの近寄る場合。一方、二個体が近接していた際に、AがBから離れていく場合、逆にBがAから離れていく場合、そのような個体間の行動を把握することで、2頭の間を関係を理解していくとすることができる。

精度の高いトラッキングのためには個体識別の技術が求められる。たとえば連続観察中であれば、目を離さないように(あるいは連続撮影すれば)、同じ個体を追跡できる。しかし、一旦調査をやめてしまえば、次の調査時に同じ個体かどうか分からなくなると継続した社会性の追跡はできない。飼育ゲージの中では、個体が入れ替わるということは想定されないものの、前回の調査から連続して同じ個体を追跡するためには、個体識別が必要である。

そして映像からの行動解析と個体識別が合わせて解析できれば、個体間の関係を解析ができるシステムが導入されている。

伴侶動物、畜産動物、そして野生動物においても、個体識別と行動判別を組み合わせた解析は、まだほとんど導入が進んでいないようで、今後の発展が期待される。近年は、人間を対象とした学問分野に限らず、動物行動学や生態学、獣医学といった研究分野においても、個体や遺伝子レベル

での多様性が重視されている。そうした観点から、個々の表現形質や行動の違いをふまえての個体間の相互作用や社会性の分析は、非常に注目されている視点である。動物園でも、複数個体で飼育しているような場合、あるいは、異なる種を同時に飼育する混合飼育(シマウマとキリンを同じ飼育スペースで飼うなど)を行う場合には必要となるだろう。

個体間の相性を把握することも今後の課題である。もともと4頭で飼育していた際に見られたそれぞれ強弱関係は、1頭がいなくなったり、逆に増えたりした場合に、大きく変化をすることもある。シカなども複数でいる場合には、優位性に階層がみられるなど社会関係もあるため、個体間の関係を判別することは、今後いっそう重要となるだろう。

5-1-5. 目的の明確化とシステム構築

AI技術の導入は多方面に期待されるが、具体的にどのように導入するのか、一体どのような目的を定めて進めていくのか、明確化させることが最初に考える必要があるだろう。飼育動物の種数も豊富であり、飼育する目的も多様である。AIの技術も何にでも可能というわけではないので、適切な目的を設定しなければ、ただ労力がかかってしまうだけだ。

用途に応じて、構築するシステムのイメージも変わるだろう。それを先に決めなければいけない。たとえば、行動を自動判別できたとして、それをどう利用するか。大きくはアラート型と分析型に分けられるだろうか。何か問題を検出したら、報告する(アラートを鳴らす)タイプ。もう一つは、実験動物のネズミで使われているシステムのように、行動を識別してログを取り、アウトプットのグラフまで出してくれるものもある。動物園の職員がこれまでは手作業で行っていたことがかなり省けるのではないかと。どのようなシステムを構築するかによって、映像の取得方法や、解析する行動の内容も変わるだろうから、利用目的を定めるのが肝要である。

また、誰がどう必要な作業を担うのか。教師データの作成には非常に手間と時間がかかる。とくに画像へのラベル付けを誰が行うか。実験動物に使われているシステムでは、撮影装置から、解析のためのアプリケーションまですでに構築されている。もちろんマウスやラットという限定された動物種のものだからこそできる。動物園のように、多種多様な動物を対象とするのであれば、あらかじめどれだけ解析までに準備が必要なのか、利用者が手間をかける必要があるのか、システムを構築するうえで検討する必要がある。

個体識別などに関しては、たとえばたくさんの画像を送れば行動を解析してくれるというサービスもある。先に紹介した「WildBOOK」という学術プロジェクトや、ほかにも Labellio というサービスがあり、アザラシの体の形状と模様について、画像から深層学習させて判別に用いた研究例がある。このように画像の準備とラベリングも含めたサービスもすでに存在するため、今後のシステムの構築において、どこまでそうした利用者の手間を減らしたシステムを構築できるかが検討課題だろう。

目的が明確化されれば、導入すべき技術についても、様々な可能性が検討できるだろう。たとえばAI分析に用いる画像・映像の撮影方法にも様々な技術を取り入れることができる。夜間での撮影や水中での撮影、あるいは赤外線を熱分布として映像表現するサーモグラフや、音を画像表現するスペクトログラム(ソノグラム)、医療分野で用いられるような超音波映像など、扱うデータを拡張することで利用の幅は広がる。

利用目的に沿うためには、AI等の新しい技術だけでなく、他の技術とも良い連携をできるようになればよい。例えば、野外では衛星を用いて位置情報を定位するジオロケータや、装着個体の体温や外部気圧、水圧、移動速度などを記録することができるバイオリギングという技術も急速に進歩し

ている。飼育動物に対しても、AI技術を用いた個体識別や行動判別とともに、体温など健康状態を測定する装着型の技術を併用することで、利用目的の達成につながるだろう。動物園の機能強化と新たなビジネス創出への可能性にむけては、AI技術の効果をより発揮できる他分野・他技術との連携も今後の発展のカギとなるだろう。

6.まとめ

～新ビジネス創出に向けた可能性～

本業務においては、札幌市円山動物園の全面的な協力のもと、北海道大学大学院情報科学研究科より山本 雅人教授・飯塚 博幸准教授、北海道大学大学院獣医学研究院より下鶴 倫人准教授、Sapporo AI Lab から株式会社テクノフェイス 代表取締役石田 崇の各氏を検討会委員として委嘱し、AI・IoTといった先進技術を活用することで、動物福祉の観点など様々な面から円山動物園の機能強化を図ることを目的に検討会を実施してきた。

本報告書の文中にあるように、既に円山動物園には、獣医・動物専門員が手作業で記録した、大量の動物行動に係るデータがあり、山本教授・飯塚准教授の発表内容からは、これら大量のデータをデジタル化し AI に取り込み学習させることで、環境エンリッチメントの向上に寄与できることが示唆された。

また、円山動物園の機能強化のみならず動物と関わりのある他産業への展開や波及が見込まれるものとして、愛玩動物などペット関連産業に資するもの、また酪農業・畜産業など農業分野への応用などが考えられた。

人工知能については、現在3度目の波（第三次のブーム）が起きているとされるが、下支えするディープラーニングという技術自体が芽吹いてからまだ日が浅く、前述した「アルファ碁とアルファ碁ゼロの関係」のように、その学習方法含めて今後どのような技術革新が起こるのかを注視しつつ、本業務で構築された産学官の繋がりを維持しながら、継続して調査を進めたい。

各委員からも、今後も継続して可能性を調査するべきである、とのコメントで一致しており、本件にて協力いただいた、札幌市円山動物園、北海道大学や、AI を研究しているIT企業等、広範囲の協力を得ながら札幌市の産業に資する活動を続けたいと考えている。

卷末資料

資料 1 第 1 回検討会資料及び議事録

資料 2 第 2 回検討会資料及び議事録

資料 3 第 3 回検討会資料及び議事録