

赤外線測距センサデータに基づく飼育下チンパンジーの局所的な行動の分類の試行

吉田 信明¹ 山梨 裕美^{2,3} 人長 果月⁴

概要: 近年、動物園では、飼育動物の福祉と健康の向上を目的として、各動物種に特有の行動を引き出せるように飼育環境に変化と工夫を施す「環境エンリッチメント」の取り組みが行われている。現在、このような取り組みの多くは、ロープやパイプなどの簡易な素材を組み合わせて実現されているが、変化が少なく動物が飽きてしまうなど課題も多い。センサや映像、通信技術の普及により、環境エンリッチメントに視覚的变化を持たせる有効な手段として、インタラクティブな映像の利用が考えられるが、技術面を含む種々の課題のため、その検討は十分になされているとはいえない。

このような背景の下、京都市動物園では、2020年3月21日から29日まで、映像を活用した環境エンリッチメントの実験を公開で行った。実験では、野生の森をイメージした、インタラクティブなプロジェクションマッピング作品を制作してチンパンジー展示室内の壁面・床面に投影し、飼育個体の反応を調べた。チンパンジーたちは、壁に接近したり、ブイに触れたりすることで、映像を変化させることができた。このようなインタラクションを実現するため、展示室内には複数種のセンサを設置した。壁近くの天井には、チンパンジーの接近を検出するため赤外線測距センサを床に向けて複数設置し、その測定値とあらかじめ設定した閾値を比較した。

このようなセンサの時系列データは、行動等のより詳細な情報を含んでいると期待される。そこで、実験終了後、今回の実験で得られた赤外線測距センサの時系列データから、センサ設置箇所周辺での局所的な行動の観察データへの、教師あり機械学習による分類を試行した。その結果、一定の精度のデータが抽出された。このことは、このようなセンサを用いた、より複雑なインタラクションを持つ環境エンリッチメントの実現可能性を示唆している。さらに、動物福祉の基礎となる精度の高い行動観察データの収集の自動化にもつながると期待される。

1. はじめに

近年、動物園では、飼育動物の福祉と健康の向上を目的として、各動物種に特有の行動を引き出せるように飼育環境に変化と工夫を施す「環境エンリッチメント」[1]の取り組みが行われている。現在、このような取り組みの多くは、ロープやパイプなど、簡易な素材を組み合わせて実現されている。しかしながら、このようなエンリッチメントは、変化が少ないため、時間がたつと動物が飽きてしまい、やがて利用しなくなるといった課題がある。

このような課題に対し、環境エンリッチメントに視覚的变化を持たせる有効な手段として、インタラクティブな映

像の利用が考えられる。近年のセンサや映像、通信技術などの普及・一般化に伴い、環境エンリッチメントにおいてもこのようなインタラクティブな映像の活用が可能になりつつある。その一方で、提示するコンテンツの内容や、長期的な運用のあり方、効果の適切な評価手法など、本格的な導入に向けての検討は未だ十分なされていない。

このような背景の下、京都市動物園では、2020年3月21日から29日まで、チンパンジーの飼育室において、映像を活用した環境エンリッチメントの公開実験を行った[2]。実験では、野生の森をイメージした、インタラクティブなプロジェクションマッピング作品を制作してチンパンジー展示室内の壁面・床面に投影し、飼育個体の反応を調べた。チンパンジーたちは、壁に接近したり、ブイに触れたりすることで、映像を変化させることができた。このようなインタラクションを実現するため、展示室内には複数種のセンサを設置した。

¹ 京都高度技術研究所
ASTEM RI / Kyoto

² 京都市動物園
Kyoto City Zoo

³ 京都大学野生動物研究センター
Wildlife Research Center, Kyoto University

⁴ 美術家
Artist



図 1 人長果月《Actant—チンパンジーの森》
(2020年, インタラクティブビデオインスタレーション)

本稿では、このようなセンサのうち、壁へのチンパンジーの接近を検出するために使用した赤外線測距センサのデータについて行った評価について述べる。公開実験では、測距データとあらかじめ設定した単一の閾値を比較し、閾値を超えた場合に、テントウムシや水滴などの絵が壁の映像上に現れるようにした。しかし、このような映像によるエンリッチメントの本格的な導入に向けては、長期的に飽きがこないように、個体や行動に合わせて異なる応答をするなど、反応の多様化が期待される。そのためには、センサなどから得られるデータに基づき、リアルタイムで動物の行動や位置を把握できる必要がある。

そこで、著者らは、実験終了後、今回使用したセンサから得られたデータについて、行動などの検出への利用可能性の検証を、機械学習の手法を用いて試みた。センサの測定値の時系列データから抽出した特徴量を入力とし、個体名や姿勢、行動の有無を出力する分類器を作成し、評価を行った。本稿では、この結果について述べる。まず、2節では関連研究・事例を述べる。3節では、公開実験の概要と、公開実験のシステムで用いたセンサのうち、本稿で対象とする赤外線測距センサの設置状況を示す。その上で、4節では評価に使用した赤外線測距センサのデータ、5節では作成した分類器についてそれぞれ説明し、その評価結果を6節で示す。7節では、この結果を踏まえ、映像を用いた環境エンリッチメントにおける、センサを利用した反応の多様化について検討する。

2. 関連研究・事例

2.1 環境エンリッチメントと ICT

環境エンリッチメントは、動物園動物の福祉改善の効果的な手法の一つとされており、その動物種がもっている本来の行動レパートリーをできるだけ満たし、かつ、本来の行動レパートリーの時間配分に近づけること [1] を目的として行われている。動物園においては、一般的な素材の利

用に加え、ICT を利用した認知エンリッチメントとして、タッチパネルを利用したチンパンジーに対する事例 [3], [4] や、オランウータンに対して行われた例 [5] などがある。また、物理的な触覚を伴う装置とカメラ等を組み合わせたエンリッチメントの試みもなされている [6]。本研究で行ったような投影映像とセンサを用いたエンリッチメントの事例は限られているが、オランウータンを対象に、プロジェクトに深度センサを組み合わせた事例がある [7], [8]。

2.2 行動推定とセンサ

本稿では動物を対象に、飼育空間中にセンサを配置し、その結果に基づいて動物の行動推定を試みている。このような行動推定は、人間を対象とした事例が多くある。例えば、[9] では、人感センサをアレイ状に配置し、そのデータを多層パーセプトロンに適用して、運動強度の推定を試みている。また、[10] では、家庭内に人感センサやタップ型消費電力モニタを配置して、そのデータから、独居高齢者の行動推定を行っている。

人感センサのような ON/OFF の 2 値を出力するセンサに対して、本実験で使用したような測距センサや加速度センサは、浮動小数点数による詳細な時系列データを出力する。このようなデータを用いた行動推定の事例として、例えば、[11] では、机に圧力センサと距離センサを 1 つずつ配置して着座した被験者に対して計測を行い、その結果の時系列データの統計量に基づいて、実験参加者らの行っているタスクの推定を試みている。今回の実験のような状況下では計測時のチンパンジーの位置や姿勢を事前に固定することは困難であり、本稿ではそれらの推定も試みた。

2.3 動物の飼育と ICT

動物の飼育における ICT の活用としては、特に、畜産においても管理の省力化や動物福祉・管理の向上の観点から進められている。例えば、[12] では、放牧牛の位置や個体間の相互作用を BLE タグを用いてデータとして収集している。また、近年の、深層学習の進展・普及に伴い、ブタの姿勢を検出し、健康状態などを把握する試みもなされる [13] など、コンピュータビジョンの活用も進みつつある。センサを利用した行動推定としては、加速度センサをブタの耳 [14] やイヌの首輪 [15] のような、動物の身体に直接取り付けるといった方法も提案されている。しかし、このような手法は動物種によっては困難であり、チンパンジーを対象とした本実験では空間にセンサを設置した。

3. 実験

3.1 概要

本実験は、2020年3月に京都市で行われたイベントにおけるプログラムとして、下記の概要により行われた。

イベント KYOTO STEAM – 世界文化交流祭 – 2020 [16]

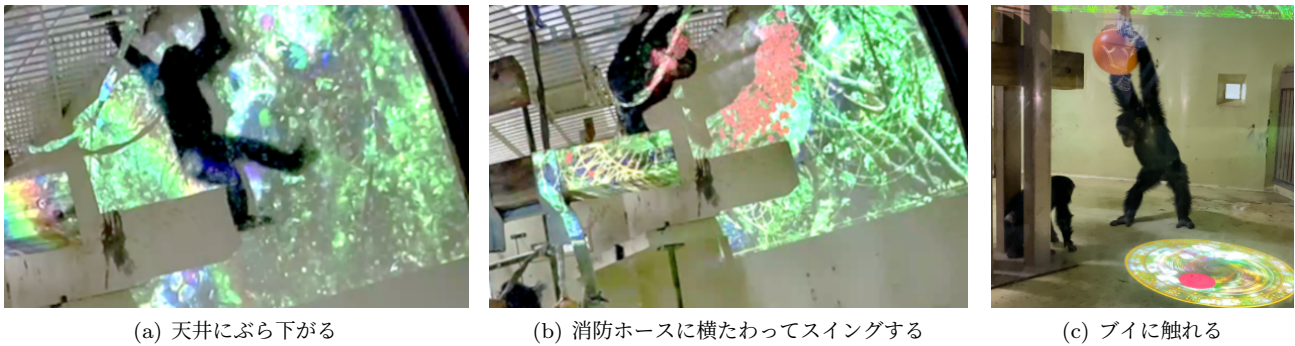


図 2 作品とのインタラクション

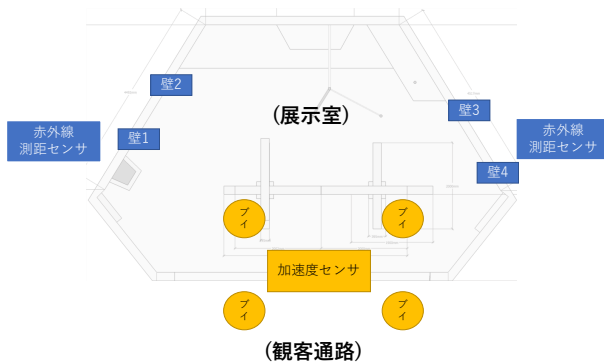


図 3 センサの設置場所 (平面図)



図 4 天井に設置したセンサ (格子の箱内)

プログラム アート×サイエンス IN 京都市動物園 アートで感じる?チンパンジーの気持ち [2]
開催日時 2020/3/21~29(23日休園) 9:20~15:00
会場 京都市動物園 類人猿舎 屋内展示場 3

3.2 作品

作品は、「野生の森」をイメージしたプロジェクションマッピングによる映像作品として制作された(図 1)。映像は、両側の壁と、床 2ヶ所にそれぞれ投影された。壁の映像には、壁面付近でのチンパンジーの動きに反応して、テントウムシや水滴などが表示された(図 2 (a)(b))。一方、床の映像では、近くにぶら下げられたプイの動きに連動して赤い丸が動いた(同 (c))。また、観客通路にもプイを展示室に向かって左右に 1 個ずつ設置し、これを来園者が動かすと、それぞれの側の壁の映像上で雲などが連動して動いた。

これらの動作を実現するために、左右の壁それぞれに 2 台の赤外線測距センサ、4 個のプイ内部それぞれに加速度センサを取り付けた(図 3)。これらの計 8 個のセンサで測定したデータは、会場内に設置したイーサネットを介して映像投影用の PC にリアルタイムで送信された。

3.3 赤外線測距センサの設置状況

壁面の赤外線測距センサには、SHARP GP2Y0A710K を使用した。センサは、データ読み取り・処理用のマイコンボード (Seeed 社 Seeeduino Nano, Arduino Nano 互換)

とともにケースに格納し、展示場内の天井にある格子の上に、床方向に向けて設置した(図 4)。チンパンジーがセンサやケーブルに直接触れることを防ぐため、格子とセンサ・ケースの間には 6mm 厚の透明ポリカーボネート板を敷いた。

4. データ

4.1 測定データ

センサはマイコンボードの AD コンバータに接続された。マイコンボードは電圧値を読み取り、その数値を距離に変換してネットワーク経由で映像投影用とデータ記録用の PC に送信した。送信処理等のため必ずしも一定間隔の測定ではなかったが、4 台のセンサそれぞれで毎秒平均 18.8 回の測定を行った。測定値については、映像を変化させるためのトリガとする目的では正確な距離は不要であったため較正は特に行わず、映像が適切な反応をするように閾値側を調整した。それぞれのデータには、受信側のデータ記録用 PC で、タイムスタンプを付与した。

測定データの一部を図 5 に示す。赤・青それぞれの線が、2 台のセンサに対応している。値のずれは、設置環境や未較正によるものと考えられる。この例では、天井にぶら下がって壁にさわりにいく場合(13 時 2 分~3 分ごろ、図 2(a))、消防ホースの上に横たわってスイングしている場合(13 時 6 分前後、図 2(b))に、センサにチンパンジーが近づき、測定値が変化の様子が示されている。

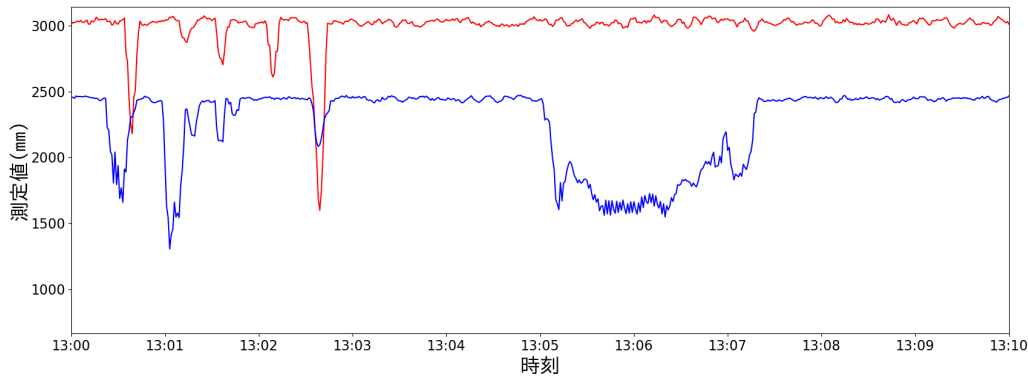


図 5 測定データの一部 (5 サンプル移動平均, 赤: 壁 3 センサ, 青: 壁 4 センサ)

4.2 観察データ

観察データは、実験時に設置した監視カメラ映像を用いて、下記の項目を目視により記録した。監視カメラとデータ記録用 PC は、NTP により時刻が同期されていたので、機械学習用データを作成する時には、この時刻に基づき、観察データと測定データの対応付けを行った。

- 時間区間 (秒単位での開始時刻・終了時刻、画面上に表示された時刻)
- 個体名
- 行動内容
- 場所 (消防ホース, 天井など)
- 壁への働きかけの有無
- 消防ホースのスイングの有無

5. 分類器の学習

5.1 手法

分類器の学習は図 6 のように行った。分類器は、測定データから抽出した特徴量を入力とし、観察データから抽出した分類を出力とする。分類パターンとしては、後述する個体・姿勢・行動 (2 パターン) の 4 パターンを設定し、それぞれ個別に分類器を作成した。データの学習用・評価用への分割は、分類パターンごとに層化抽出法によって行った。分類期の学習は、勾配ブースティング手法の一つである、XGBoost[17] を用いた。ハイパーパラメータのチューニングには、Optuna[18] を用いた。

5.2 特徴量

行動が観察された時間区間ごとに、その面に設置されたセンサ 2 台から取得したデータから、以下の特徴量を算出した。本実験では、1 面の壁に 2 個のセンサを並べて取り付けたので、各センサごとに特徴量を算出し、これらを組み合わせ、8 要素の特徴量ベクトルとした。特徴量の算出には、Python のライブラリである pandas[19] および Astropy[20] を用いた。

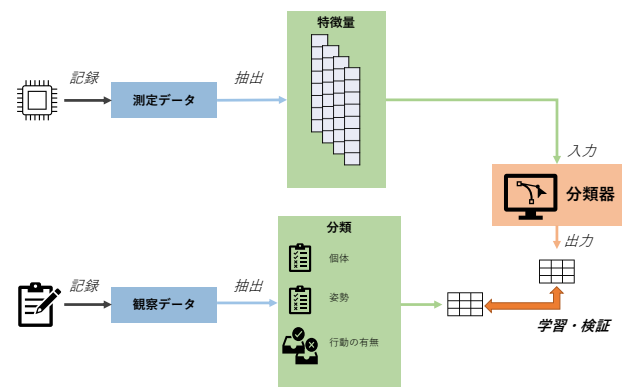


図 6 分類器の学習

- 平均
- 標準偏差
- ピーク周波数 (Lomb-Scargle 法による)
- ピーク周波数強度

5.3 分類パターン

観察データに基づいて、頻繁に参加した個体やよく見られた行動から、分類項目とそのクラスを決定した。分類項目と、それぞれに含まれたクラスは、以下の通りである。

個体 同園で飼育されている 6 個体いずれも実験で使用した飼育室に出入り可能であったが、壁付近で行動があったのは若い 2 個体がほとんどであった。そのため、その 2 個体と、無人の状態の 3 クラスへの分類とした。

- ニイニ (オス, 7 歳)
- ロジャー (オス, 1 歳)
- 無人

消防ホースでの姿勢 行動の多くは壁の前に張られた消防ホース上か、周辺の天井で行われたため、ホースに関係した姿勢と、それ以外をクラスとした。ホースに関する姿勢は、ホース上での 3 パターンと、ホースからのぶら下がりパターンとした。

- 坐位 (ホース上)

表 1 データ数

(a) 個体			(b) 姿勢		
個体名	学習用	検証用	姿勢	学習用	検証用
ニイニ	99	33	坐位	53	17
ロジャー	98	33	立位	40	13
無人	162	54	臥位	7	2
計	359	120	消防ホース下	7	3
			消防ホース外	100	34
			計	207	69

(c) 行動 (スイング)			(d) 行動 (壁への働きかけ)		
	学習用	検証用		学習用	検証用
行動あり	65	22	行動あり	122	40
行動なし	142	47	行動なし	85	29
計	207	69	計	207	69

- 立位 (ホース上)
 - 臥位 (ホース上)
 - 消防ホース下 (消防ホースからのぶら下がり)
 - 消防ホース外 (天井からのぶら下がりなど)
- 行動** 壁付近でよく見られた動きのある行動として、消防ホースをスイングさせる行動、および、壁に手や足などで働きかける行動があった。この2つの行動をそれぞれ分類パターンとし、その有無をクラスとした。
- スイング
 - － スイングあり
 - － スイングなし
 - 壁への働きかけ
 - － 働きかけあり
 - － 働きかけなし

それぞれの分類パターンごとに使用したデータ件数を表 1 に示す。なお、個体の分類のうち「無人」の時間帯は、目視での観察で室内に個体がいなかった時間帯ごとに、1 件のデータとした。

6. 結果

以上の方法に基づいて行った評価の結果を表 2 に示す。評価は、観客通路から向かって右側の壁に設置された 2 台のセンサ (図 3 における壁 3・壁 4 のセンサ) のデータを対象に、検証用データを用いて行った。それぞれの分類パターンごとの結果の混同行列と全体の正解率、各クラスごとの適合率、再現率を示す。

6.1 個体

個体の分類結果を表 2(a) に示す。無人の状態は良好に識別されており、ニイニ、ロジャーがいるにも関わらず無人と認識されたり、その逆に、無人であるにも関わらず個体が検出されたりすることはなかった。一方で、2 個体間の識別については、誤識別が見られ、適合率・再現率とも

に 70%前後であった。

6.2 姿勢

姿勢の分類結果を表 2(b) に示す。ホース外での動きについては、再現率が 9 割を超えたが、その他の動きも誤認識したため、適合率は 68%程度であった。その他の動きについては、再現率が低く、高くても 6 割弱であった。特に、立位を坐位やホース外での動きと誤認識する例が目立った。

6.3 行動 (スイング)

スイングの有無の判別結果を表 2(c) に示す。全体の正解率は 9 割弱であった。個別のクラスでは、スイングありの場合の適合率・再現率が、いずれもなしの場合より低い結果であった。

6.4 行動 (壁への働きかけ)

壁への働きかけの有無の判別結果を表 2(d) に示す。働きかけなしの再現率が極端に低く、38%程度となった。一方で、働きかけがある場合の再現率は高く、92.5%であった。

7. 考察

ここで作成した分類器は、目視での観察結果と一致するように学習を行った。このような分類器の評価においては、その出力が、どの程度、目視での観察結果と一致しているかが課題となる。著者らの過去の一事例では、2 名の観察者が同時に同じ個体を対象にして行動観察を行った場合、85%程度、観察結果が一致していた。行動記録の手法や対象の動物種、課題などが異なっているため、評価基準にはならないが、観察記録の質の観点から、自動分類の結果評価の目安となると考えられる。この点で評価すると、個体の有無を含んだ個体の識別や、スイングの有無の識別は、一定の水準に達していると考えられるが、姿勢や壁への働きかけの有無の識別については、十分とはいえない結

表 2 結果

(a) 個体 (正解率: 84.2%)					(b) 姿勢 (正解率: 63.8%)						
個体名	分類結果			再現率	姿勢	分類結果					再現率
	ニイニ	ロジャー	無人			坐位	立位	臥位	ホース下	ホース外	
ニイニ	24	9	0	72.7%	坐位	10	0	0	0	7	58.8%
ロジャー	10	23	0	69.7%	立位	7	1	0	0	5	7.7%
無人	0	0	54	100%	臥位	0	0	1	0	1	50.0%
適合率	70.6%	71.9%	100%		ホース下	1	0	0	0	2	0.0%
					ホース外	2	0	0	0	32	94.1%
					適合率	50.0%	100%	100%	0.0%	68.1%	

(c) 行動 (スイング, 正解率: 89.9%)				(d) 行動 (壁への働きかけ, 正解率: 69.6%)			
スイングの有無	分類結果		再現率	働きかけの有無	分類結果		再現率
	スイングあり	スイングなし			働きかけあり	働きかけなし	
スイングあり	18	4	81.1%	働きかけあり	37	3	92.5%
スイングなし	3	44	93.6%	働きかけなし	18	11	37.9%
適合率	85.7%	91.7%		適合率	67.3%	78.6%	

表 3 2 個体の判別状況 (姿勢別, -は該当データなし)

	ニイニ	ロジャー
坐位	86.7%	-
立位	-	50.0%
臥位	100.0%	-
消防ホース下	75.0%	-
消防ホース外	45.5%	-

誤ってニイニ, ロジャーと判定される場合が多くなっている。ケースごとの状況に違いがあるため一概には言えないが, 小さなロジャーが立っている場合に大きなニイニと区別が付きにくくなるなど, 天井からの距離のみによる測定の影響を受けている可能性がある。

7.2 個体位置

点での距離測定を用いることによる課題は, 個体の位置の検出にも現れている。消防ホースの上にいるにも関わらず, 消防ホース以外での行動に分類されるケースが多くあった (表 2(b))。これは, センサの直下に個体がおらず, 正確な検出が困難であったためと考えられる。ただし, 本実験では, 消防ホースが揺れるとセンサの下を通過するように設置されていた。そのため, センサの直下に個体がない場合でも, 消防ホースの動きを通じてある程度検出された可能性がある。

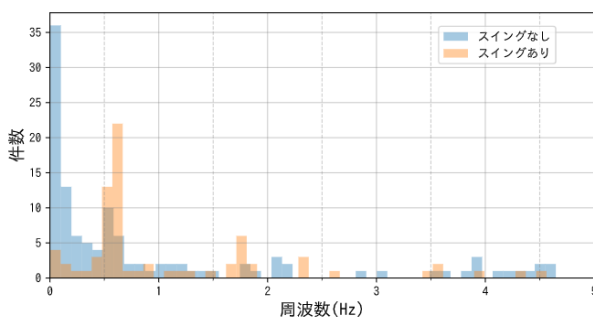


図 7 "壁 4" センサのピーク周波数値の分布

果となった。

このような結果について, 本節では, まず, 分類パターンごとに結果を検討し, 反応の多様化へのセンサ利用について考察する。

7.1 個体

京都市動物園では, オス 4 頭, メス 2 頭の 6 頭のチンパンジーを飼育している。これらのうち, 先に述べたように壁面の映像によく働きかけたのは若いオス 2 頭であった。表 2(a) に示すように, 個体の有無は適切に判別可能であった。

一方で, 2 個体の判別には限界があった。姿勢別の 2 個体の判別状況 (表 3) によると, ロジャーがホース上に立っている場合とニイニがホース上にいない場合に, それぞれ,

7.3 行動 (スイング)

スイングの有無は有効に検出できた。周波数領域の特徴量を用いたが, 1 台 ("壁 4") のセンサのピーク周波数値の分布 (図 7^{*1}) をみると, スイングがある場合, 0.5~0.7Hz 付近にデータの分布が集中している。映像でも, スイングがおおよそ 2 秒周期で行われているケースが多く観察されており, このような特徴量が有効に機能したと考えられる。

7.4 行動 (壁への働きかけ)

一方で, 壁への働きかけがなかったにも関わらず, あったと誤判定した例が半数以上あった。誤判定した例は, 消防ホースが動いているか, 天井にぶら下がって移動したりしている場合が多い (表 4)。センサの設置場所は, 壁から

*1 5.0Hz 以上の周波数は省略した。

表 4 壁への働きかけ”なし”を”あり”と誤判定した例

開始時刻	終了時刻	個体名	行動メモ
2020-03-21 13:00:33	2020-03-21 13:00:43	ロジャー	消防ホースに乗ったあとぶら下がって壁に近づく
2020-03-22 12:07:03	2020-03-22 12:07:05	ロジャー	ニイニを叩く
2020-03-22 12:12:29	2020-03-22 12:12:35	ロジャー	ニイニに遊びかける
2020-03-26 09:19:50	2020-03-26 09:19:58	ロジャー	消防ホースの上に立ってスイング
2020-03-26 09:23:38	2020-03-26 09:23:42	ニイニ	ブラキエーション
2020-03-26 12:03:19	2020-03-26 12:03:26	ロジャー	消防ホースに立って揺らす
2020-03-27 09:41:57	2020-03-27 09:42:03	ロジャー	消防ホースの上に立って見ている
2020-03-27 10:11:59	2020-03-27 10:12:00	ニイニ	消防ホースの上に座ってスイング
2020-03-27 12:15:46	2020-03-27 12:15:51	ニイニ	消防ホースの上に座ってスイング
2020-03-27 12:57:07	2020-03-27 12:57:40	タカシ	寝台の上に立ち上がって眺める
2020-03-27 13:12:45	2020-03-27 13:13:14	ニイニ	消防ホースの上に座って揺らしたりブイを触ったりする
2020-03-27 13:22:13	2020-03-27 13:22:18	ニイニ	4足で逆さまにぶらさがってスイング
2020-03-27 14:25:51	2020-03-27 14:25:57	ロジャー	消防ホースに立っている
2020-03-28 11:04:13	2020-03-28 11:04:19	ロジャー	消防ホースの上に立って消防ホースを足で振り回す
2020-03-28 11:16:57	2020-03-28 11:17:05	ロジャー	消防ホースの上に立って消防ホースを足で振り回す
2020-03-28 11:17:25	2020-03-28 11:17:30	ロジャー	消防ホースの上に立って消防ホースを足で振り回す
2020-03-29 14:16:49	2020-03-29 14:16:59	ニイニ	消防ホースに座ってスイング
2020-03-29 14:19:44	2020-03-29 14:19:47	ロジャー	消防ホースに立って消防ホースを揺らす

少し離れており、消防ホースの動きの影響を受けやすい場所であった。壁への働きかけを直接検出するような位置にセンサを設置していなかったことの影響が考えられる。

7.5 反応の多様化に向けて

映像の反応の多様化を実現するにあたって、反応を変化させるトリガとして以下のようなものが考えられる。

個体 体格や性別、過去の行動履歴など、個体ごとにパーソナライズした応答を提示する

個体位置 個体がよりの確に映像に反応できるように、姿勢や位置にあわせて表示場所の調整などを行って応答を提示する

行動 スイングや壁への接触などの動きに合わせて映像を変化させたり、壁への働きかけを誘ったりするなど、行動にあわせて応答を提示する

ここまで述べてきたような各分類パターンでの結果を踏まえると、今回のセンサの設置状況下では、個体の有無や、消防ホースでの行動に基づいて何らかの応答を返すことは可能と考えられる。また、反応の一貫性がどの程度要求されるかにもよるが、個体や壁への働きかけに基づいた反応も、一定程度可能と考えられる。

その上で、反応の正確さを得るためには、以下のようなことが求められると考えられる。

空間での測定 今回の測距センサのような点での測定ではなく、面的に個体位置を捉えたり、3次元的に物体の位置・大きさをとらえることで、体格や位置に基づいた識別が可能になる

行動に合わせたセンサ位置 応答すべき行動と他の行動を混同しにくい地点にセンサを設置する。ただし、事前

にそれを予測することは(特に今回のような点での測定では)困難である。また、環境等の制約により、最適な場所にセンサを設置できない場合もある

8. まとめ

本稿では、映像を活用した環境エンリッチメントにおいて動物の動きを映像に反映するために用いた赤外線測距センサの時系列データを用いて、個体やその位置、行動の機械学習的手法による判別を試みた。特徴量として周波数領域のデータも利用した結果、個体の有無やスイングの検出が可能であり、映像への働きかけが多く見られた2個体の識別や姿勢についても一定レベルの正解率を得たが、十分な分類ができない姿勢の組み合わせもあった。これらのことから、今回のセッティング下において、センサデータからチンパンジーの行動を把握することが一定程度可能と考えられる一方で、点でのみ測定するセンサを用いることの限界も見られた。

最終的には、ここで得られたような個体や位置、行動の情報に基づいてリアルタイムで反応が変化する、映像による環境エンリッチメントが期待される。そのためには、リアルタイムで行動の変化を検知し、その行動を識別することが求められる。本実験で、赤外線センサを採用した理由の一つに、個体が壁に近づいた時にできるだけ早く(できれば1,2フレーム以内)に反応を返してやりたい、という点があった。測定地点を増やしたり、より複雑なデータを出力するセンサを使用すると、処理すべきデータ量も多くなる。リアルタイム性への要求を踏まえつつ、検出精度を向上する手法やシステム設計が求められる。

なお、このようなセンサを用いた個体や行動のデータ化

は、環境エンリッチメントの評価にも有効である。環境エンリッチメントの評価では、目視や監視カメラを用いた観察が行われる。しかし、距離の遠さやカメラ映像の不鮮明さにより、エンリッチメント装置付近での詳細な動きを観察することはしばしば困難である。行動観察へのセンサ利用は、より精度の高い、環境エンリッチメントの効果の測定・検証にもつながると期待される。

謝辞 本実験は、「KYOTO STEAM - 世界文化交流祭 - 2020」のプログラムとして実施された。KYOTO STEAM - 世界文化交流祭 - 実行委員会の関係者、山本恵子氏ほか本プログラム関係者、および坂本英房園長、門竜一郎氏、小谷修氏、板東はるな氏、佐藤元治氏ほか京都市動物園関係者の皆様に感謝する。

本研究の一部は JSPS 科研費 19K01150 の成果に基づくものである。

参考文献

- [1] 松沢哲郎: 動物福祉と環境エンリッチメント, どうぶつと動物園, Vol. 51, pp. 74-77 (オンライン), 入手先 (<https://www.saga-jp.org/enrichment/ja/essay-1999.html>) (1999).
- [2] 山梨裕美, 人長果月, 山本恵子: ちびっこチンパンジーから広がる世界 (222) チンパンジーと映像の森, 科学, Vol. 90, pp. 518-519 (2020).
- [3] 田中正之, 櫻庭陽子, 吉田信明: 京都市動物園チンパンジー認知エンリッチメント 10 年間の記録, 霊長類研究 Supplement, Vol. 35, pp. 57-57 (オンライン), DOI: 10.14907/primate.35.0_57.1 (2019).
- [4] Yamanashi, Y. and Hayashi, M.: Assessing the effects of cognitive experiments on the welfare of captive chimpanzees (*Pan troglodytes*) by direct comparison of activity budget between wild and captive chimpanzees, *American Journal of Primatology*, Vol. 73, No. 12, pp. 1231-1238 (online), DOI: <https://doi.org/10.1002/ajp.20995> (2011).
- [5] Scheel, B.: Designing Digital Enrichment for Orangutans, *Proceedings of the Fifth International Conference on Animal-Computer Interaction*, ACI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3295598.3295603 (2018).
- [6] Clark, F. E., Gray, S. I., Bennett, P., Mason, L. J. and Burgess, K. V.: High-tech and tactile: Cognitive enrichment for zoo-housed gorillas, *Frontiers in Psychology*, Vol. 10 (online), DOI: 10.3389/fpsyg.2019.01574 (2019).
- [7] Webber, S., Carter, M., Sherwen, S., Smith, W., Joukhadar, Z. and Vetere, F.: Kinecting with orangutans: Zoo visitors' empathetic responses to animals' use of interactive technology, Vol. 2017-May, Association for Computing Machinery, pp. 6075-6088 (online), DOI: 10.1145/3025453.3025729 (2017).
- [8] Martin, C. F. and Shumaker, R. W.: Computer Tasks for Great Apes Promote Functional Naturalism in a Zoo Setting, *Proceedings of the Fifth International Conference on Animal-Computer Interaction*, ACI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3295598.3295605 (2018).
- [9] 市村翔一, 趙強福: 赤外線センサアレイに基づいた人物位置/行動認識, 第 80 回全国大会講演論文集, Vol. 2018, No. 1, pp. 573-574 (2018).
- [10] 本田美輝, 山口弘純, 東野輝夫: 家庭内での移動と家電利用のセンシングによる高齢者の生活行動推定, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, Vol. 2017, pp. 1375-1385 (2017).
- [11] 手塚太郎, 清野悠希, 古谷遼平, 佐藤哲司: 姿勢計測による e-learning 受講者の行動推定, 知能と情報, Vol. 28, No. 6, pp. 952-962 (オンライン), DOI: 10.3156/jsoft.28.952 (2016).
- [12] 山内陽平, 山西雄大, 福元駿汰, 治京拓人, 太田能, 西出亮, 大山憲二, 谷口隆晴, 大川剛直: IoC : Internet of Cows—インタラクション分析による放牧牛飼養管理システム—, デジタルプラクティス, Vol. 11, pp. 511-532 (オンライン), 入手先 (<http://id.nii.ac.jp/1001/00206162/>) (2020).
- [13] Nasirahmadi, A., Sturm, B., Edwards, S., Jeppsson, K.-H., Olsson, A.-C., Müller, S. and Hensel, O.: Deep Learning and Machine Vision Approaches for Posture Detection of Individual Pigs, *Sensors*, Vol. 19 (online), DOI: 10.3390/s19173738 (2019).
- [14] Haladjian, J., Ermis, A., Hodaie, Z. and Brüggel, B.: IPig: Towards Tracking the Behavior of Free-Roaming Pigs, *Proceedings of the Fourth International Conference on Animal-Computer Interaction*, ACI2017, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3152130.3152145 (2017).
- [15] Kumpulainen, P., Valdeoriola, A., Somppi, S., Törnqvist, H., Väättäjä, H., Majaranta, P., Surakka, V., Vainio, O., Kujala, M. V., Gizatdinova, Y. and Vehkaoja, A.: Dog Activity Classification with Movement Sensor Placed on the Collar, *Proceedings of the Fifth International Conference on Animal-Computer Interaction*, ACI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3295598.3295602 (2018).
- [16] KYOTO STEAM - 世界文化交流祭 - 2020, 入手先 (<https://kyoto-steam.com/2020/>) (参照 2020/12/9).
- [17] Chen, T. and Guestrin, C.: XGBoost: A scalable tree boosting system, *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Vol. 13-17-August-2016, Association for Computing Machinery, pp. 785-794 (online), DOI: 10.1145/2939672.2939785 (2016).
- [18] Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. and Koyama, M.: Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework, *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp. 2623-2631 (online), DOI: 10.1145/3292500.3330701 (2019).
- [19] The pandas development team: Pandas - Python Data Analysis Library (online), available from (<https://pandas.pydata.org/>) (accessed 2021/1/3).
- [20] The Astropy Project: Astropy (online), available from (<https://www.astropy.org/>) (accessed 2021/1/3).