

BLE ビーコンを用いた動物園入園者の滞在時間の計測

伊東 一望・後藤 研人・藤井あゆり・梶浦 文夫

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2020年10月1日 受理)

はじめに

動物園には、教育、研究、保護（繁殖）、レクリエーションなど主に4つの役割があると言われている^{1) 2)}。それらの役割のうちの「教育」は、野生動物に親しむことから始まって、野生生物やその生息地を守るためには最終的に地球全体の環境を守る必要性があることを理解し、そのための行動ができるようになることを目指している。著者らの研究室では、その第一歩として「動物園入園者に動物への興味を持ってもらう」ための取り組みを2012年から行ってきた^{3) 4) 5)}。

動物園入園者に動物への関心や興味を持ってもらう取り組みを評価する方法として事前・事後テスト、作品評価、アンケート調査など多様な評価法が考えられる。著者らは、それら評価法の一つとして、入園者が対象動物の展示の前でどの程度の時間滞在するかを計測することを試みてきた。一般に入園者が展示の前で長時間滞在するほどその展示に関心を持っている傾向があることが明らかにされている⁶⁾。

著者らの研究室では、これまでGPSロガーを用いた滞在時間の計測^{7) 8)}、ウェアラブルカメラを用いた滞在時間の計測⁵⁾を試みてきた。GPSロガーを用いる場合の利点は比較的小型で軽く価格も安いこと、一方欠点はGPS衛星4個からの電波を受信できる位置でなければならない制約のため障害物があるほど精度が低いことと屋内で使用できないことである。また、ウェアラブルカメラの場合の利点は入園者が見ていたものが大まかに記録されること、時刻に関しては十分な精度があることなどである。欠点は、重くてかさばることと使用可能時間が短いこと、高価であることなどである。

著者らはGPSロガーやウェアラブルカメラを用いるよりも優れた計測方法がないかを検討し、今年度は第3の方法としてBLEビーコンを用いた滞在時間の計測を試みた。

以下では、BLEビーコン、方法、結果と考察について述べる。

1. BLE ビーコン

BLE ビーコンとは、Bluetooth® Low Energy Beacon の短縮形である。Bluetooth® とは、短距離無線通信の一種で、最近のデジタル端末には標準で装備されていることが多い。したがって、BLE ビーコンとは、短距離の Bluetooth® 通信を利用して、低消費電力で情報発信を行う機器のことである。この機器から発信される電波を Bluetooth® が搭載されたスマートフォンなどの情



図1 使用した BLE ビーコン

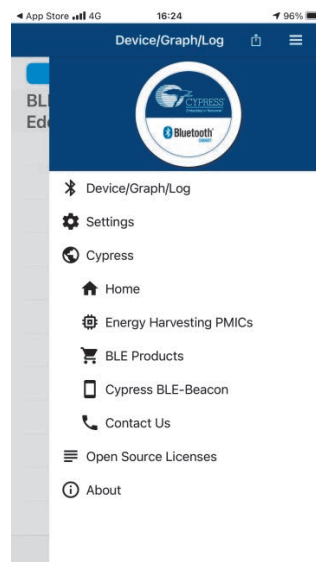


図2 使用した iPhone 用アプリ

報端末が受信することで情報を取得することができる。

図1に今回使用した BLE ビーコンの写真を示す。使用したビーコンは、Focus Systems 社製の FCS1301 である。厚さは 3.5mm、縦 46mm、横 24.5mm、重さ 5g という非常に小型軽量のビーコンである。CR2016 型ボタン電池を使用しており、メーカーの説明書では電池寿命は約 1 年と記載されているが、発信する電波の強度と頻度によって電池寿命は変化する。比較的簡単に電池交換ができる。実験の際にはストラップを付けて首にかけてもらった。

メーカーからダウンロードできるアプリによって、FCS1301 の設定を変更することができる。主な変更可能な設定は、[1] 電波発信間隔 (100ms ~ 10240ms)、[2] 電波強度 (-30dbm ~ 4dbm) である。今回の実験では電波発信間隔を 100ms (1 秒間に 10 回発信)、電波強度を -30 dbm (最も弱い電波強度) とした。

BLE ビーコンからの電波を受信するためのスマートフォン用アプリは、iPhone 用も Android 用も多数のアプリがある。それらのうちの数種類を試した中で、Sypress の BLE-Beacon というアプリを使用した。図2にアプリ実行中の画面の例を示す。このアプリでは、電波を受信したビーコンの識別番号 (Major-ID : 0 ~ 65535、Minor-ID : 0 ~ 65535)、日付、時刻、温度、湿度

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Date	Time	ID2	Sensor Data	Minor	Hour	Minute	Second	Seconds
2	2019/7/23	16:15:36	1	0x0003		3 16	15	36	58536
3	2019/7/23	16:15:36	1	0x0009		9 16	15	36	58536
4	2019/7/23	16:15:36	1	0x0004		4 16	15	36	58536
5	2019/7/23	16:15:37	1	0x0009		9 16	15	37	58537
6	2019/7/23	16:15:37	1	0x0003		3 16	15	37	58537
7	2019/7/23	16:15:37	1	0x0008		8 16	15	37	58537
8	2019/7/23	16:15:37	1	0x0005		5 16	15	37	58537
9	2019/7/23	16:15:37	1	0x0006		6 16	15	37	58537
10	2019/7/23	16:15:37	1	0x0002		2 16	15	37	58537

図3 Sypress BLE-Beacon に記録されるデータの例

を記録することができる。これらのデータをパソコンに転送して表示すると、図3のようになる。

図3のC列がビーコンの識別番号のうち Major-ID、E列が Minor-ID である。使用したビーコンの Major-ID は全て1であった。E列の Minor-ID を見ると、2、3、4、5、6、8、9の7個のビーコンから受信していることが分かる。このデータから何番のビーコンが何時何分何秒から何時何分何秒までの何秒間スマートフォンの近くにいたかを求めることができる。

2. 方法

実験は倉敷芸術科学大学構内の3か所および岡山市池田動物園⁹⁾のホワイトタイガー舎前で行った。

(1) 大学構内での実験

BLE ビーコンの設定は、電波発信頻度が100ms、発信電波強度が-30dbmとした。実験場所は、以下の3か所である。

- (ア) 25号館内：屋内である。壁や天井に囲まれていて、一般的に電波が反射して遠くまで届くと言われている。
- (イ) 24号館北側：屋外である。南側が壁、北側と上部がオープンになっている。
- (ウ) グラウンド中央部：周りはどの方向もオープンになっている。一般的に電波が拡散して遠くまで届かないと言われている。

以上3か所で、実験1と実験2の2種類の実験を行った。

[実験1]

BLE-Beacon アプリをインストールしたスマートフォン2台を持った人Aに、BLE ビーコン1個を首にかけた人Bが十分遠い地点から一歩ずつ近づいていき、2台のスマートフォンの両方が電波を受信した地点でA B間の距離を記録する。Bはそこから一歩ずつ離れていき、2台のスマートフォンの両方が電波を受信しなくなった地点でA B間の距離を記録する。この実験を1個のBLE ビーコンにつき10回繰り返し、8個のBLE ビーコンごとに繰り返した。

[実験2]

BLE ビーコンのメーカーの説明書では、電波強度-30dbmの場合の電波の到達距離は5m程度と書かれている。そこで、実際に5m以内をどの程度正確に計測できるかを確かめた。BLE-Beacon アプリをインストールしたスマートフォン1台を持った人Aに、BLE ビーコン1個を首にかけた人Bが十分遠い地点から普通の歩く速さで近づいていき、距離が5mの地点でBはストップウォッチを押して時間を測り始める。そのまま1mの距離まで近づいて10秒間停止した後、Aから普通の歩く速さで離れていく。距離5mのところまでストップウォッチを押し、5m以内にいた実際の時間を計測する。

(2) 池田動物園での実験

ホワイトタイガー舎の前は広い空間があり、グラウンドに近い状況である。ここで、2種類

の実験を行った。実験1では「真正面以外から近づいた際に計測誤差がどれほど生じるか」、実験2は「8個のBLEビーコンが一度に同じ場所に近づいた際に、全てのBLEビーコンを検知することができるか、また計測誤差がどれほど生じるか」を調べた。

[実験1]

ケージ前でスマートフォンを持っている人Aに、BLEビーコン1個を首にかけて人Bが近づき、半径5m地点を通り過ぎる際にストップウォッチを押し、測定を開始する。ケージの前まで来たら10秒間停止し、その後電波が届かなくなる距離まで離れる。その途中、半径5m地点でストップウォッチを押し、5m以内にいた実際の時間を計測する。これを1個につき10回計測した。

[実験2]

実験1と同様、ケージ前でスマートフォンを持っている人Aに、BLEビーコン8個を首にかけて人Bが近づき、半径5m地点を通り過ぎる際にストップウォッチを押し、測定を開始する。ケージの前まで来たら10秒間停止し、その後電波が届かなくなる距離まで離れる。その途中、半径5m地点でストップウォッチを押し、5m以内にいた時間を計測した。

3. 結果と考察

学内の3か所で、近づく時と離れる時の検知可能距離を表1から表3にまとめた。それぞれ10回の平均値を示している。一定程度ばらつきはあるが、予測の通り3か所の違いが結果に表れている。表1の25号館内は周りに壁や天井があるため反射して遠くまで電波が届き、検知距離は長くなる。表3のグラウンドは周りに障害物がないため電波が拡散して早く減衰し、検知できる距離は短くなる。表2の25号館北側は一方に壁があるためそこに反射した電波はグラウンドよりは遠くまで届き、検知距離は中間の値になった。

表1 学内実験1 (25号館)

ID	2	3	4	5	6	7	8	9
近づく平均 (m)	12.62	9.55	11.84	14.50	15.77	14.62	13.99	15.90
近づく SD	1.35	1.47	1.45	0.49	1.57	1.07	0.73	0.78
離れる平均 (m)	13.59	11.91	13.91	15.93	16.84	17.06	15.13	17.24
離れる SD	0.83	0.44	1.48	0.79	1.29	1.49	0.78	0.93

表2 学内実験1 (24号館北側)

ID	2	3	4	5	6	7	8	9
近づく平均 (m)	8.04	4.77	7.95	8.27	7.63	8.48	8.35	7.43
近づく SD	0.64	2.37	0.82	0.50	1.09	0.44	0.23	0.64
離れる平均 (m)	8.54	5.40	8.60	8.99	8.40	9.14	8.89	8.24
離れる SD	0.72	2.71	0.59	0.44	0.55	0.66	0.34	0.30

表3 学内実験1 (グラウンド)

ID	2	3	4	5	6	7	8	9
近づく平均 (m)	7.28	5.76	8.16	4.81	4.83	5.50	6.09	6.27
近づく SD	1.10	0.56	0.84	0.28	1.10	0.70	0.42	0.84
離れる平均 (m)	8.06	6.75	9.41	5.72	5.59	6.31	6.95	7.91
離れる SD	0.79	0.32	0.30	0.33	1.03	0.45	0.54	0.85

学内の3か所の実際の時間と計測された時間との違いを図4から図6に示す。これらのグラフを見ると、それぞれにばらつきは見られるが、こちらも予測通りの結果となっている。25号館内は遠くまで電波が届くので実際の時間よりも計測時間が長くなっている。一方、グラウンドの場合は、電波が届く距離が短いので実際の時間よりも計測時間の方が短くなっている。24号館北側では電波の届く距離も他の2か所の中間の値だったので、実際の時間と計測時間が拮抗している。

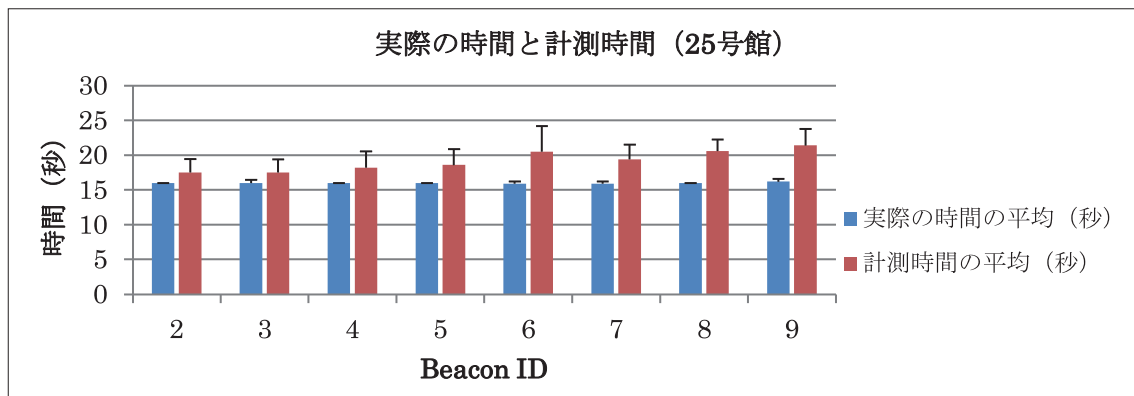


図4 実際の時間と計測時間 (25号館)

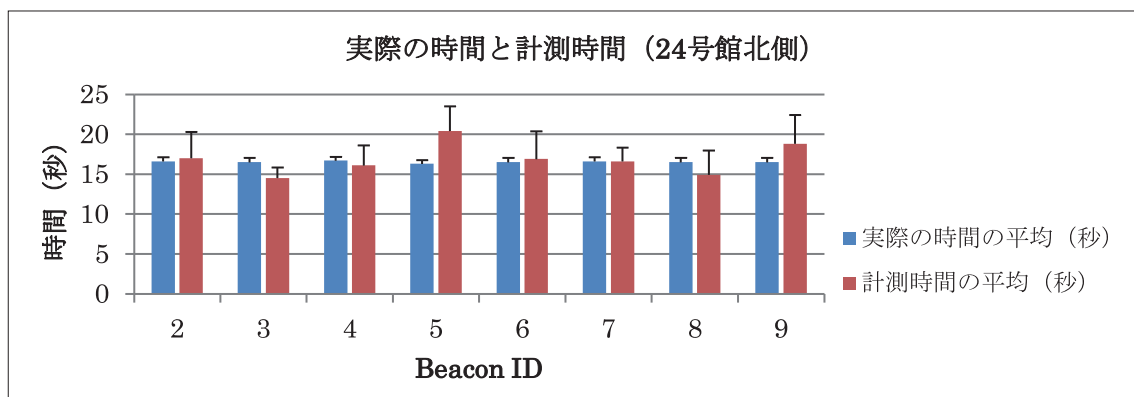


図5 実際の時間と計測時間 (24号館北側)

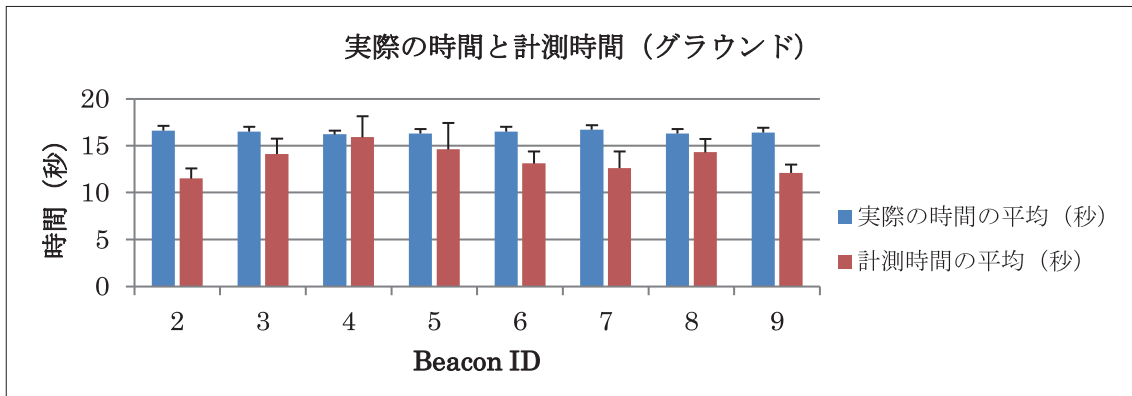


図6 実際の時間と計測時間（グラウンド）

動物園での実験1と実験2の結果を図7と図8に示す。池田動物園のホワイトタイガー舎前はかなり広い空間であるため、実験結果も学内のグラウンドでの実験結果と同様で、実際の時間よりも計測時間が短いという結果になった。

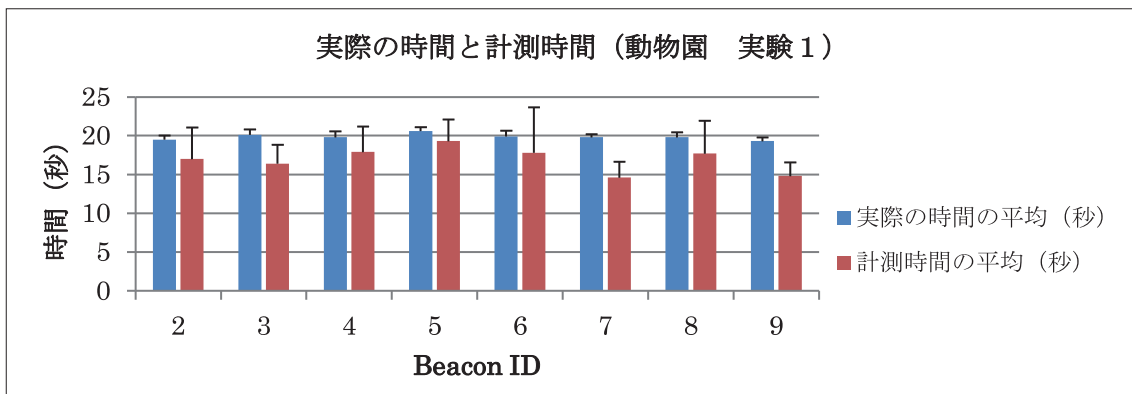


図7 実際の時間と計測時間（動物園 実験1）

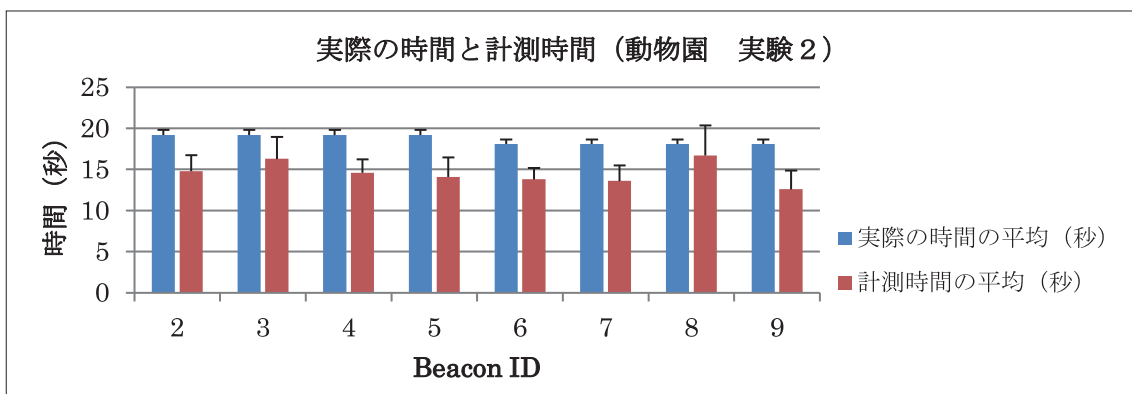


図8 実際の時間と計測時間（動物園 実験2）

以上の結果を基に、動物園での教育的な取り組みの評価のために利用するという観点で、BLE ビーコンによる滞在時間の計測法について考察する。

- (1) 同じ動物舎での取り組み前の滞在時間と取り組み後の滞在時間を比較する場合には、N 数が十分あれば結果も信頼できると考えられる。
- (2) 一方、別の動物舎間の滞在時間の違いを調べるために使う場合には注意が必要である。比較する動物舎の周りの環境（壁や天井があるかそれともオープンか）が同等であれば良いが、例えば屋内と屋外のように異なった環境の場合にはそのまま比較することは難しい。この場合は予備実験をして補正値を求めておくか、電波強度を変えて計測値の平均を揃えておく必要がある。

BLE ビーコンを用いた滞在時間の計測は、GPS ロガーとウェアラブルカメラとに比べて、小型・軽量、安価であり、連続使用時間が長く、屋内でも使用できるなど利点が多い。周りの環境の影響を受けることに気を付ければ非常に有効であることが分かった。

今後は、動物に興味を持ってもらうプログラムを開発し、プログラム実施の前と後で滞在時間にどのような変化があるかを、BLE ビーコンを使った計測法で確かめる研究を進めていきたい。

文献

- 1) Geoff Hosey, Vicky Melfi, Sheila Pankhurst (2011) 『Zoo Animals』 OXFORD UNIVERCITY PRESS
- 2) 日本動物園水族館協会 4つの役割 (<https://www.jaza.jp/about-jaza/four-objectives>)
- 3) 水井麻奈美ほか (2012) 『動物園を活用した教育－動物の色と模様－』 日本動物園水族館教育研究会誌 2012, pp.18-21
- 4) 溝部正孝ほか (2013) 『動物園を活用した教育の実践－動物に興味を持とう－』 日本動物園水族館教育研究会誌 2013, pp.55-58
- 5) 奥はるか, 桑島佳那, 松永賀子, 岡秀彦, 梶浦文夫 (2017) 『ウェアラブルカメラを用いた水族館教育の評価の試み』 日本動物園水族館教育研究会誌 2017, pp.51-56
- 6) 五百部裕 (2014) 『名古屋港水族館の来園者の意識と行動』 インターネットジャーナル「環境エンリッチメント」, Vol.8, No.1 (2014)
- 7) 橋本沙紀 (2016) 『動物園を活用した教育－GPS ロガーによる評価－』 倉敷芸術科学大学卒業論文 2016
- 8) 田村美里 (2017) 『動物園を活用した教育の実践－GPS ロガーによる評価－』 倉敷芸術科学大学卒業論文 2017
- 9) 池田動物園ホームページ (<http://www.urban.ne.jp/home/ikedazoo/index.html>)

Measuring Zoo Visitors Staying Time at Animal Exhibits with BLE-Beacons

Hitomi ITOH, Kento GOTOH, Ayuri FUJII, Fumio KAJIURA

*College of Life Science,
Kurashiki University of Science and the Arts,
2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan*
(Received October 1, 2020)

Final goals of zoo education are understanding of environmental conservation and behavior change for it. But its first step to the goals is to get interested in animals. We have been planning and implementing educational activities through which the zoo visitors get interested in animals. Simultaneously we have tried to measure visitors staying time at the exhibits in order to know the degree of interest in animals. It was reported that generally the longer visitors staying time is, the more they are interested in animals.

We have been researching on the way of measuring the zoo visitors staying time at animal exhibits. In 2016, we tried to measure it with GPS loggers. The advantages of using GPS logger are that it is small and light weight to carry. But its disadvantages are that it is not so precise and it cannot be used indoors. In 2017, we tried to measure staying time with a wearable camera. Its advantages are that they are able to record what visitors watched and they can record precise staying time. Its disadvantage is that it is heavy to wear and it cannot be used continuously for a long time.

This paper reports how to use the BLE beacons in order to measure the zoo visitors staying time at animal exhibits, its advantages and disadvantages compare to the above-mentioned time measuring methods.