

SpyGame: BLE ビーコンを用いた位置情報 利用型ゲームシステムの開発と運用

富永 聡司¹ 田口 雄規¹ 大堀 良介¹ 落合 智生¹ 牛丸 恭佑¹ 大森 夢拓¹
梶岡 慎輔¹ 松尾 啓志¹

概要: 名古屋工業大学では Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンを用いて教室内外判定が可能な位置推定システムにより、授業出席の打刻を行っている。このシステムは、学生自身のスマートフォンで周囲の BLE ビーコンを受信し、その情報に基づいて教室付近の学生の位置を最大数 m の誤差で推定できる。我々は、学生や一般の方に楽しみつづ本学の位置推定システムに触れてもらうため、位置情報を利用したゲームシステム SpyGame を考案・開発した。SpyGame は、プレイヤーがスマートフォンアプリに示されたチェックポイントまでの「距離」をもとに構内を歩いてチェックポイントを探索するゲームである。ゲームプレイ中は BLE ビーコンを常時受信し、チェックポイントまでの距離が更新される。SpyGame 実現のため、本学構内に既に設置されている約 1600 個の BLE ビーコン発信機を活用するとともに、BLE ビーコン発信機を追加設置して屋外の位置推定精度向上を図った。本稿では、ゲームシステムの概要と、SpyGame を本学大学祭において運用して約 200 名分のデータを収集した結果について述べる。

キーワード: Bluetooth Low Energy, スマートフォン, 位置推定, ヒト移動データ

SpyGame: A Game System using Position Information Estimated from BLE Beacons

SOSHI TOMINAGA¹ YUKI TAGUCHI¹ RYOSUKE OHORI¹ TOMOI OCHIAI¹ KYOSUKE USHIMARU¹
YUMEHIRO OMORI¹ SHINSUKE KAJIOKA¹ HIROSHI MATSUO¹

Abstract: In Nagoya Institute of Technology, a position estimation service that includes Bluetooth Low Energy (BLE) beacons is used for attendance confirmation of daily lectures. This service can estimate the position of students with an error within meters. We developed a game system named SpyGame to introduce the aforementioned estimation service as a hands-on activity. Players of SpyGame walk around the campus to find the checkpoint with the help of information about the distance to the checkpoint. Throughout game-play, players use their smartphone to capture BLE beacon information continuously, so the distance to the checkpoint is shown on the screen. We utilized 1600 of already installed BLE beacons in our campus and 70 of additional BLE beacons to improve the accuracy of position estimation. In this paper, we describe the overall architecture of SpyGame and analyze data collected from the school festival.

Keywords: Bluetooth Low Energy, Smartphone, Position Estimation, Human Trajectory Data

1. はじめに

Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンの電波強度を用

いた位置推定技術が注目されている。一般に広く利用されている GPS、携帯電話基地局、無線 LAN アクセスポイントを用いた位置推定手法は、大学構内のように多くの建造物や障害物が存在し電波が容易に反射・回折・減衰するような環境では推定誤差が数十 m に至ることもある。名古屋

¹ 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

屋工業大学(本学)では、2016年4月より学内に約1600個のBLEビーコン発信機を設置し、誤差数m程度の高精度位置推定により学生及び教員が自身のスマートフォンで授業に出席していることを記録する打刻システム[1]を運用している。打刻システムは主に、授業の出欠管理に利用されているが、それだけでなく、深夜学内に残留するための申請としてや、災害発生時に学生の所在を把握することにも活用されている。

本学に設置したBLEビーコン発信機を用いて、屋内外位置推定や移動軌跡分析およびその応用の研究が数多く行われている。しかし、研究内容に触れる機会の少ない学部学生や学外の一般人における本学のBLEビーコンおよび打刻システムの認知度は高くない。そこで、さまざまな人に本学の位置推定システムに触れてもらいたいと考え、BLEビーコンを用いた位置情報利用型ゲームシステムSpyGameを企画、開発した。本システムの概要を図1に示す。SpyGameは位置情報を利用した謎解きゲームであり、ユーザがチェックポイントをまわって“ナゾ”を集め、最終目的地を目指すものである。本システムは本学のBLEビーコン発信機、スマートフォンアプリ、ゲーム進行用サーバで構成される。ユーザは、自身のスマートフォンを用いてBLEビーコンを常時取得し、サーバへ送信する。サーバは受信したビーコン情報を用いて、位置推定を行う。その後ユーザは現在位置からチェックポイントまでの距離をサーバから受け取り、その情報を頼りにチェックポイントまで移動する。チェックポイントに到着してスマートフォンを操作(PUSHボタンの押下)するとゲームクリアに必要な鍵となる“ナゾ”の取得と次のチェックポイントの設定が行われる。2017年11月24日から25日に本学で開催された大学祭(工大祭)において本システムを運用し、219名がゲームに参加した。

本稿の構成は以下の通りである。第2章では位置推定の関連研究を挙げる。続いて第3章、第4章で本ゲームシステムの構成、イベント運営の補助ツールについて説明する。第5章で得られたデータに関しての評価を述べ、第6章でまとめと今後の課題を挙げる。

2. 関連研究

本学ではBLEビーコンを用いた位置推定による打刻サービスを運用している。また研究分野でも、BLEビーコンを用いて屋内で高精度に位置推定が行えることを利用して、ヒトの移動軌跡データを収集・分析して特徴的な行動パターンを抽出する研究が行われている[2]。本ゲームではBLEビーコンを用いて推定したプレイヤーの位置をゲームの進行とヒトの移動軌跡データの収集に用いている。本章では連続した移動軌跡データを取得することのできる既存のシステムやBLEビーコンを用いた位置推定システムを関連研究として挙げる。

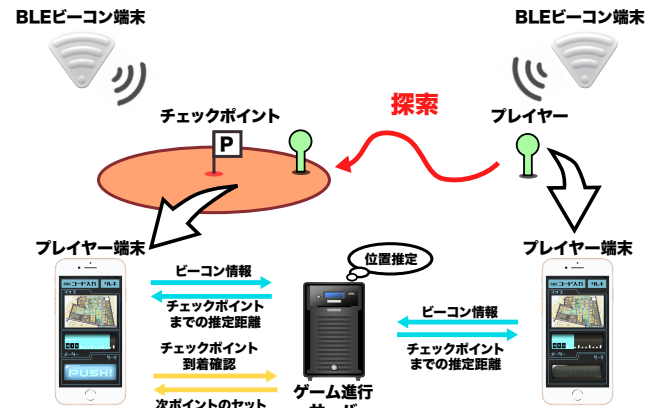


図1 システムの全体概要

2.1 位置情報を用いたサービス

位置情報を用いたサービスのうち、連続した移動データを収集できるものとして位置トラッキングサービスがある[3][4]。これらのサービスでは主にユーザのスマートフォンのGPS機能をバックグラウンドで常時使用し、ユーザの移動を一定間隔ごとに記録することで実現されている。しかし、スマートフォンのGPS機能を利用する位置トラッキングはスマートフォンアプリがバックグラウンド状態のときに位置推定精度が悪化するという問題がある。最近、iOSとAndroidは共に省電力化が進み、アプリケーションがバックグラウンド状態の時や省電力モードの時は、GPS信号の取得回数を減らすもしくは取得機能が動作しない場合がある。そのため、連続したデータを取得し続けるためには、ユーザが常にアプリケーションをフォアグラウンドで動作させ続けるような工夫が必要である。

2.2 BLEビーコンによる位置推定

ビーコン発信機からの受信信号強度(RSSI: Received Signal Strength Indicator)を用いた位置推定方法の中でも代表的なのは、フィンガープリント法[5]である。フィンガープリント法は予めRSSIの実測値(教師データ)を準備しておき、教師データと取得データをパターンマッチングすることで位置推定を行う手法である。この手法は本学のBLEビーコンを用いた研究にも利用されており、教室内で数mの誤差で位置推定が可能である。また、人や物の配置によってRSSIが増減してしまう問題に対処するため、各ビーコン発信機の信頼度を重み付けによって補正する手法[6]も提案されている。

しかし実際には、人や障害物の移動に起因するゆらぎや端末ごとの特性による誤差などにより推定精度は大きく悪化する。さらに、フィンガープリント法は事前の教師データの量が推定精度に影響するため、広い範囲での位置推定には、膨大な量の教師データを作成する必要がある。本学では教師データとして利用できる屋外のデータを蓄積していないため、本システムではフィンガープリント法を使

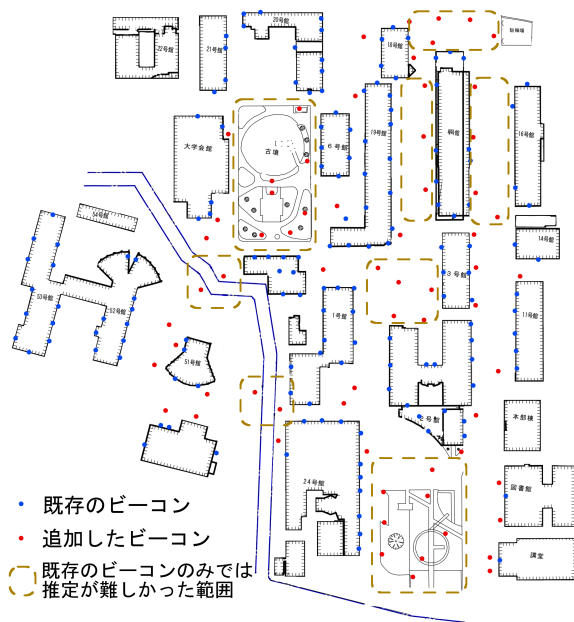


図 2 学内 BLE ビーコン発信機の配置図

用せず、BLE ビーコンの取得数に基づく位置推定を採用した。

3. SpyGame のゲーム内容とシステム概要

本章では SpyGame について、ゲーム内容とシステム全体のアーキテクチャ、各コンポーネントの順で説明する。

3.1 SpyGame

SpyGame は位置情報を利用した謎解きゲームである。参加者は学内に設定された最終目的地を探す。最終目的地の場所は明かされておらず、その場所を知る為にはストーリーに沿って 5 つの“ナゾ”を収集し答えを組み合わせなければならない。“ナゾ”は構内に設定されたチェックポイントと呼ぶ地点を訪れることで収集できる。チェックポイントは視覚的には判断できないため、参加者はスマートフォンアプリに示されたチェックポイントまでの距離を頼りに構内を探索する。ゲームの進行は、ユーザ登録部、ゲーム部で構成される。ユーザ登録部では、まず、ユーザが自身の ID をサーバに登録する。アプリ初回起動時、ユーザは ID 登録操作を行い、ID をサーバに送信する。サーバは重複する ID が存在しない場合は認証キーをアプリに返す。認証キーは端末に保存され、その後のサーバとの通信で認証済であることを示す情報として用いられる。その後、ゲーム部への遷移は大学祭の会場でのみ行える仕様とした。ゲーム部の状態遷移は、ユーザによるコード入力と PUSH ボタン押下により発生する。ID 登録後、ユーザはゲーム開始コードを入力する。ゲーム開始コードはユーザの数だけユニークな値を事前にランダム生成しており、このコードそれぞれにゲームで使用するチェックポイントの組み合わせ（以後ルートとする）を設定することができる。



図 3 BLE ビーコン発信機の設置方法

ルートを設定したゲーム開始コードを入力することでそのユーザに固有のルートがセットされ、チェックポイントの探索がスタートする。

チェックポイントの探索中、携帯情報端末は BLE ビーコンを常時受信し、受信時刻を含むビーコン情報をサーバに 2 秒間隔で送信する。サーバは位置座標を計算し、位置情報を更新する。ユーザは自分の位置情報から計算された「次のチェックポイントまでの距離」をサーバからレスポンスとして受け取り、その情報を頼りに構内を歩き回りチェックポイントを探す。視覚的な分かりやすさのために、チェックポイントまでの距離は数値だけでなく、距離に応じて長さが変化し、チェックポイントに近づくほど長くなる棒状メーターでも表示した。

チェックポイント周辺にたどり着くと端末画面下部の「PUSH ボタン」が光り、押下可能になる。「PUSH ボタン」を押すと“ナゾ”と 5 桁のコードが表示される、ユーザがアプリにコードを入力することで次のチェックポイントが設定される。

以上の行動を 5 回繰り返し、出題された 5 つの“ナゾ”の答えを組み合わせると最終目的地にたどり着け、ゲームクリアとなる。

3.2 BLE ビーコン発信機の追加設置

本学の打刻システムを構成する BLE ビーコン発信機は、講義室、演習室、実験室および体育館や廊下を中心に約 1600 個設置されている。BLE ビーコン発信機の設置密度は、打刻が行われる教室でおよそ 10 m^2 に 1 台であり、その他、廊下や棟の周囲で取得できるビーコンの送信元が 1 台から 2 台分の密度となるように設置されている。BLE ビーコン発信機は打刻を行う端末が教室内にあるかどうか

の判定を主な目的として設置されているため、設置密度の低い屋外では端末で受信できる BLE ビーコンが少なく、場所によっては BLE ビーコンが全く受信できない。このような状況では位置推定精度が数十 m になるか、もしくは位置推定ができないため、SpyGame で目指す位置当てが成立しなくなる。そこで、ゲーム参加ユーザの行動範囲内では任意の場所で位置推定が行えるよう、70 個の BLE ビーコン発信機を構内に臨時設置した。屋外に既に設置されていた BLE ビーコン発信機と臨時に設置した BLE ビーコンの設置位置を地図上にプロットしたものを図 2 に示す。図 2 の青い点は以前より構内の屋外に設置されていた BLE ビーコン発信機を、赤い点は臨時に設置した BLE ビーコン発信機を示す。図 2 の破線で囲まれた内側部分は BLE ビーコンがほとんど受信できず、安定して位置推定ができなかったが、BLE ビーコン発信機を追加設置したことにより少なくとも 2 個の BLE ビーコン発信機から信号を受信できるようになった。BLE ビーコン発信機を臨時設置する際、電波の透過性、防水性能等を考慮し、図 3 に示すように、ファスナー付きのプラスチック袋に BLE ビーコン発信機および乾燥剤を入れてファスナーを閉じ、それをプラスチック製の密閉容器に入れたものを結束バンドでくくりつける設置方法を採用した。BLE ビーコン発信機設置場所の高さは端末まで直接波が届きやすく、関係者以外が誤って触れることのない外灯の地表からおおよそ 3m の高所とした。

3.3 アーキテクチャ

本システムは BLE ビーコン発信機、スマートフォン、ゲーム進行用サーバの 3 つのコンポーネントから構成される。システムの構成図を図 1 に示す。スマートフォンからゲーム進行用サーバへの通信は、常時 2 秒ごとに行われる「ビーコン情報送信」と、ユーザが目的地に到達した場合にボタンを押すことで行われる「チェックポイント到着通知」の 2 つが主である。「ビーコン情報送信」では、ユーザはスマートフォンを使用して、予め設置された BLE ビーコン発信機の信号を常に受信し、取得した major 値, minor 値, RSSI 値をサーバへ送信する。サーバは端末の位置を推定し、次の目的地までの距離を計算し、アプリへ送信する。「チェックポイント到着通知」では、ユーザがチェックポイント付近に到着したことを通知するために使用され、レスポンスとして「ナゾ」が出題される。

3.4 携帯情報端末アプリ

ユーザは携帯情報端末に本システム用のアプリをインストールする。アプリではチェックポイントに到着した際に行う「PUSH」操作、会場の MAP 表示、チェックポイントまでの距離の確認、過去に出題された「ナゾ」の確認、目的地を設定するコード入力が行える。本アプリでは常時

表 1 サーバの情報

OS	CentOS 7
プログラミング言語	Python3
	PHP7
データベース	MongoDB
フレームワーク	Flask
リバースプロキシ	nginx

BLE ビーコンを受信し、それらの major 番号, minor 番号, RSSI と取得時間を JSON フォーマットでゲーム進行用サーバへ HTTP で送信する。アプリは HTTP レスポンスとしてサーバで計算したチェックポイントまでの距離を受信し、画面に表示する。本アプリは Android と iOS それぞれに独立したアプリの開発を行い、AppStore, GooglePlay でリリースした。また、ヒト移動データ分析に利用する BLE ビーコン情報はゲームプレイ中は途切れることなく収集されることが望ましいが、iOS, Android の仕様上、アプリのプロセスが終了すると BLE ビーコンを受信しなくなってしまう。継続して BLE ビーコン情報を収集するためには、アプリをフォアグラウンドで動作させ続ける必要がある。そこで、ユーザにはがチェックポイントにたどり着くためにアプリ画面に表示される情報の変動をチェックしゲームを進行させる必要のある仕様にするこで、アプリがフォアグラウンドで動作し続けるよう工夫した。

3.5 ゲーム進行用サーバ

本システムで用いたゲーム進行用サーバのソフトウェア構成を表 1 に示す。

サーバではフロントエンドでリバースプロキシとして nginx が動作しており、バックエンドではさらに 2 つのサーバプログラムがローカルで動作している。バックエンドサーバの 1 つはゲーム進行用であり、Python3 のフレームワークである Flask によって構成され、プレイヤーに関するデータの追加・変更を行う。もう 1 つは画像データ生成用であり、PHP7 でプレイヤーに応じた画像生成を行う。これら 2 つのサーバは共通のデータベースとして MongoDB と接続されている。

移動軌跡データを分析する際、データの時刻をサーバ時刻で統一しておく必要がある。これは複数ユーザの移動軌跡データからグループとしてともに行動したデータを識別するためである。本システムでは、円滑なゲーム進行の都合上、端末時刻がサーバ時刻と最大 60 秒ずれていることを許容する。しかし、移動軌跡データ分析の際は最大数秒程度のずれしか許容されない。そこで、ユーザ登録時に端末時刻をサーバへ送信し、端末時刻とサーバ時刻のずれを計算できるようにした。こうすることで、後に端末での BLE ビーコン受信時刻をサーバ時刻に補正することが可能となる。

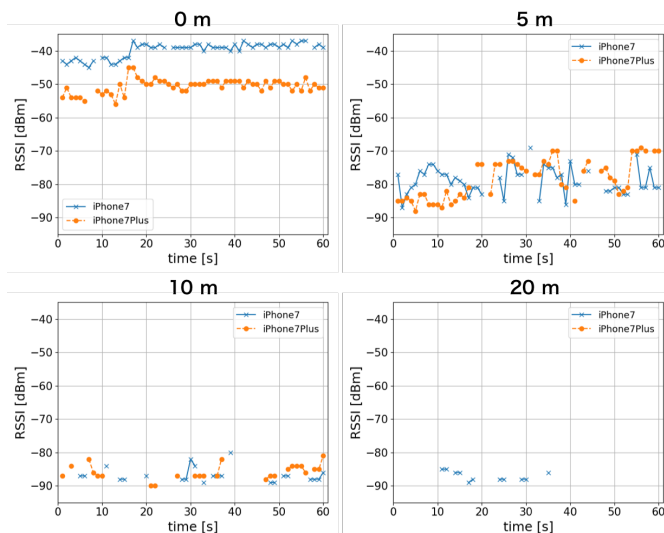


図 4 端末ごとの RSSI の比較
(BLE ビーコン発信機から 0m,5m,10m,20m で測定)

表 2 BLE ビーコン発信機からの距離と BLE ビーコン取得数の関係

距離	0 m	5 m	10 m	20 m
取得数 (iPhone7)	57	50	23	11
取得数 (iPhone7 Plus)	58	51	25	0

3.6 位置推定

RSSI の値は BLE ビーコン発信機からの距離が同一でも、環境によって異なる可能性がある。我々は、今回のゲームで RSSI の値が位置推定に利用できるかどうかを検証するため、同じ場所で RSSI がどの程度変動がするかを調査した。本学構内の通行人が多い環境で、特定の BLE ビーコン発信機が送出する BLE ビーコンを iPhone 7 と iPhone 7 Plus で 60 秒間観測し、RSSI と BLE ビーコン取得回数を計測した。BLE ビーコン発信機からの距離が 0, 5, 10, 20 m の各地点で観測した結果を図 4 に示す。図の横軸は測定開始からの経過時間、縦軸は取得した信号の RSSI の値を表している。結果から、RSSI の値は変動しうることと、端末により多少なりとも差があることが分かった。また、表 2 は図 4 の結果の受信回数を表にまとめたものである。この表より、ビーコンの取得数はビーコン発信機との距離が近いほど多いことが分かった。

上記の結果から、今回は新しい試みとして SpyGame の位置推定には RSSI は利用せず、過去 15 秒に取得した各 BLE ビーコンの数を重みとした位置推定を行った。事前にサーバに各 BLE ビーコン発信機の緯度・経度情報とその BLE ビーコン発信機の重みを格納する。BLE ビーコン発信機の重みは、事前に実地で検証した位置推定結果に基づき経験的に設定した。ある端末の推定位置は、過去 15 秒に取得した BLE ビーコンにそれぞれ対応する発信機の緯度・経度を加重平均したものである。

実際の移動データを図 5 に示す。実験結果よりゲーム運営に問題なく利用できると判断した。

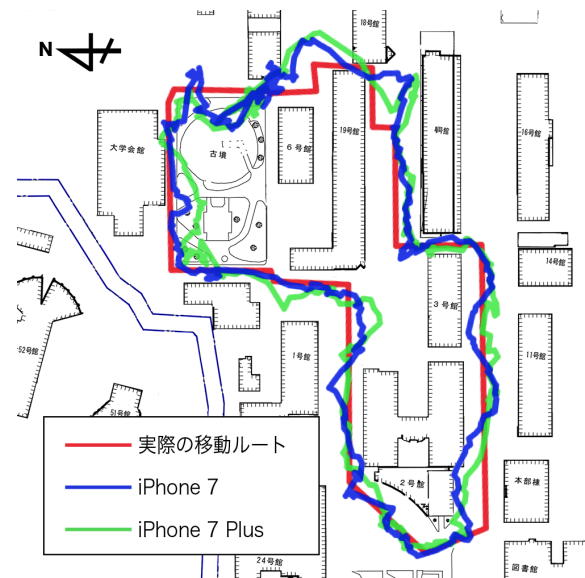


図 5 実際の移動データ

4. イベント運営の補助

4.1 ユーザ管理用ツール

イベントを柔軟・迅速に運営するために、ユーザ ID や開始コードの管理を簡単に行える必要がある。またシステムトラブルなど想定外の事態が発生する可能性も考えられるため、ユーザ個別の操作をスマートフォンアプリを使用して簡単に行えるユーザ管理用ツールを開発した。ユーザ管理用ツールを使用することで、一般のスタッフでも特定のユーザに対し、ゲームのルート設定、ユーザ進行度の確認、直近の位置推定結果の確認を行うことができる。

開発には、クロスプラットフォームフレームワークである Apache Cordova[7] を使用し、Android, iOS 向けのアプリケーションを別々に開発するコストを削減した。さらに、既存の Cordova プラグインを使用することで機能拡張を行い、バーコード読み取りやマップ表示部分などを短時間で開発することに成功した。

4.2 位置推定結果確認ツール

位置推定は SpyGame において、ゲームを快適に遊んでもらうための重要な要素である。位置推定には個々の BLE ビーコン発信機について、設置した場所の緯度・経度情報を事前に記録しておく必要があり、さらに、様々な地点での位置推定結果の精度を確認する必要があった。そこで、位置推定結果を視覚的に確認するためのアプリケーションを開発した。このアプリケーションでは BLE ビーコンの緯度・経度情報を CSV 形式で読み込むことによってサーバを介すことなく位置推定・描画が可能である。このアプリケーションを利用することで BLE ビーコンの設置位置の間違いやデータの入力間違いを素早く発見することが可能となった。

表 3 参加者が最終的に達成したステージ数

ステージ番号	1	2	3	4	5	ゲームクリア
割合	5 %	5 %	4 %	1 %	6 %	79 %

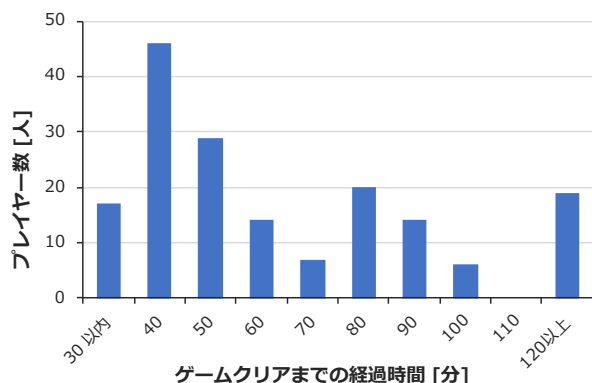


図 6 参加者のクリア時間

5. 大学祭での運用実績

2017 年 11 月 24 日と 25 日に本学にて開催された本学大学祭にて SpyGame をイベント形式で運用し、参加者 219 名分のデータを取得した。本章では運用実績として、プレイヤーのゲームの達成度と、クリアに要した時間を示す。

5.1 参加者のゲーム達成度

表 3 は実際にゲームをプレイした 219 名の参加者が、どのチェックポイントまでゲームを進行してから終えたかに関して、全参加者に対する割合を示している。表より、ゲームをクリアできた参加者が全体の 79%、途中で放棄してしまった参加者が 21%と、8 割程度の参加者がゲームをクリアしている。実際にはイベント中にサーバ障害が発生し、ゲームが一時的にプレイ不可能になったこと、幼児を含む家族連れの参加者がいたこと、イベント終了直前に受付を行った参加者がいたことなどを考慮すると、予想以上に多くの参加者がゲーム最後までを楽しんで下さったと考えている。

5.2 ゲームクリアに要した時間

ゲームをクリアした参加者について、クリアに要した時間を図 6 に示す。横軸はゲームのクリアに要した時間を 10 分区分で示しており、縦軸はユーザ数を示している。クリアに要した時間とは、ゲーム開始コードがサーバに送信された時間から、最後のコードがサーバに送信されるまでの時間と定義する。本ゲームで用意したルートはそれぞれ、直線距離の合計が約 1km となるように設定してある。この図から、多くのプレイヤーが 1 時間以内でゲームを終えており、想定クリア時間が妥当であったと思われる。筆者らが事前にテストプレイを行った際には、約 40 分を要したにもかかわらず、30 分以内にクリアした参加者が 40

名以上おり、スマートフォンを持ちながら走っていた可能性がある。その場合、非常に危険であるため、会場の見回り強化及び事前の注意喚起が必要である。また、2 時間以上ゲームをプレイしている参加者も 10 名程度おり、最長で 4 時間 50 分間プレイしている参加者がいた。これは食事などの理由で一時的にゲームを中断している可能性が高いと思われる。このことから、取得した全てのデータを「距離を頼りに移動を行ったデータ」と考えるのは難しいだろう。

6. おわりに

本稿では、2017 年 11 月末に開催された名古屋工業大学大学祭にて運用を行った、BLE ビーコンを用いた位置推定により移動情報を収集するゲームシステムである SpyGame を紹介した。運営の結果、システムトラブルなどの要因のため、ゲームを最後まで完遂しなかったユーザが 20%程度存在した。より安定したシステムを構築し、参加者全員が最後までプレイしたくなるようなゲームの製作が今後の課題である。また、参加者がゲーム途中でゲームと関係のない行動をとると、研究データ取得の観点から好ましくないため、想定プレイ時間の短縮が有用であると考えられる。

謝辞 ゲーム制作に関しデザイン、企画立案等をご協力いただいた、名古屋工業大学齋藤氏、角氏、服部氏、また、企画当初よりご助力いただいた名古屋工業大学教授竹内一郎先生に深謝する。本研究の一部は JSPS 科研費 JP16H06538 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 梶岡慎輔, 山本大介, 打矢隆弘, 齋藤彰一, 松尾啓志, 内匠逸: BLE ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), pp. 1-7 (2016).
- [2] 梶岡慎輔, 岸本 薫, 中川和也, 梅津佑太, 烏山昌幸, 藤原陽子, 打矢隆弘, 松尾啓志, 竹内一郎: BLE ビーコンによる移動情報計測と頻出移動パターンの抽出, 情報処理学会第 35 回サイバーワールド (CW) 研究会研究報告 (2017, Mar).
- [3] Google: Maps Timeline (2018, Jan. 25). <https://www.google.com/maps/timeline?pb>.
- [4] Apple Inc. AppStore プレビュー: ZweiteGPS (2018, Jan. 25). <https://itunes.apple.com/jp/app/id635080232?mt=8>.
- [5] P. Prasithsangaree and P. Krishnamurthy and P. Chrysanthis: On indoor position location with wireless LANs, In *Proceedings of IEEE International Symposium on Personal*, Vol. 2, pp. 720-724 (2002).
- [6] 酒井翔悟, 梶岡慎輔, 松尾啓志: BLE を用いた屋内位置推定におけるヒトによる電波強度の揺らぎに応じた特徴補正手法の提案と評価, 研究報告モバイルコンピューティングとパーベシブシステム (MBL), pp. 1-6 (2017).
- [7] The Apache Software Foundation: Apache Cordova [Online] (2018, Jan. 25). <https://cordova.apache.org>.