

# 地域の潜在危険エリア発見のための 子供の位置履歴転送デバイスの開発と評価

大村 和徳<sup>1</sup> 野々村 太志<sup>1</sup> 内藤 克浩<sup>2</sup> 水野 忠則<sup>2</sup> 梶 克彦<sup>2</sup>

概要: スマートフォンと BLE ビーコンの普及により, これらを組み合わせたシステムが人や物の所在管理に応用され, 子供の見守りシステムが商用化されている. しかし, 既存の見守りシステムで保護者などの大人が得られる情報は子供と見守り人がすれ違った時間, 場所及びその事実である. 我々は子供の見守りのためには情報が不十分と考え, GPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを開発し, これを用いた見守りシステムを検討した. そこで我々は, 特定エリア内のある地点にて見守りをする大人が不在だが, 子供が遊んでいるといった場所を潜在危険エリアとして定義し, これを発見する手法を提案した. また, ビーコンデバイスを用いて子供の移動経路と滞在履歴を取得する手法を提案した. 実際に開発したデバイスとスマートフォンアプリを用いてすれ違い通信を実施し, 通信量や成功率を調べた. その結果 120 個分の GPS データを転送するのに平均で 53.5 秒必要とした. また, 約 80 メートル離れた場所から通信を行えた. 1 回のすれ違いでは 1 分 10 秒程度の通信が可能であり, 約 160 個分の GPS データを転送可能である.

## Implementation and Evaluation of Child's Location History Transportation Device for Potentially Dangerous Area Detection

Kazunori Omura<sup>1</sup> Hiroyuki Nonomura<sup>1</sup> Katsuhiro Naito<sup>2</sup> Tadanori Mizuno<sup>2</sup> Katsuhiko Kaji<sup>2</sup>

### 1. はじめに

近年の BLE ビーコンの普及や IoT の研究によりビーコンデバイスとスマートフォンとを連携したサービスが提供されている [1][2]. 例えばビーコンデバイスを身の回りの物に取り付け, スマートフォンがビーコンを検知できなくなった際にスマートフォンへ通知したり, 時間と場所を記録して所持品の所在管理を行うサービスがある [3]. この仕組みを子供の見守りに応用したシステムが商用化されている [4]. これは子供が所持しているビーコンデバイスが送出する電波を見守り人である大人が所持しているスマートフォンが受信する. サーバにはスマートフォンが GPS を用いて取得した, すれ違った位置情報及び時間をサーバへ記録する.

保護者は子供の位置情報を知るためにサーバを参照し情

報の取得や通知の受け取りを行う. しかし, この手法で得られるデータはスマートフォンとすれ違った事実とその時間と場所のみであり, すれ違うまでに子供が移動した経路や滞在した場所は記録されない. また, キャンプ場や大規模な公園といった複数人の子供が集まって遊ぶ環境では, 施設の管理者の想定していない場所で子供が遊ぶ可能性が考えられる.

一般的に, 施設の管理者は子供が遊ぶのにふさわしい場所には定期的な巡回を行い, 子供が遊ぶと想定していない場所には看板や柵を設けるなどの物理的手法で子供の安全を確保している. しかし, 定期的な巡回を行っても巡回員などの大人が不在である時間が発生してしまう. さらに, 施設の管理者が子供は遊ばないと思っている場所でも子供は遊んでしまう可能性が考えられる.

また, スマートフォンを子供に所持させてリアルタイムで子供の移動履歴を取得する手法もある [5]. しかし, 子供にスマートフォンを所持させるリスクは低くなく, スマートフォンを契約するコストもある.

<sup>1</sup> 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科  
Graduate School of Business Administration and Computer  
Science, Aichi Institute of Technology

<sup>2</sup> 愛知工業大学 情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

本稿では子供に所持させるビーコンデバイスに GPS モジュールを搭載し子供の移動経路を取得する手法を提案する。本手法では GPS モジュールを搭載しているため、所持した子供の移動履歴を取得できる。また、スマートフォンよりも気軽に所持でき、紛失時のリスクも比較的低い。

我々は提案手法が実現可能か明らかにするべく、実際に GPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを作成した。また、すれ違い通信を想定し、ビーコンデバイス 1 台及びスマートフォン 1 台をそれぞれ別の人に所持させ、すれ違い時にどの程度のデータが転送可能か実験した。以下 2 章では関連する研究について述べ、3 章では潜在危険エリアの具体的な提案と必要なデバイスの要件を述べる。4 章では実験のために作成したデバイスとスマートフォンアプリについて述べ、5 章では行った実験とその結果及び考察について、6 章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

ビーコンデバイスとスマートフォンを用いて子供の見守りを行っている著名なサービスとして otta がある [4]。このサービスでは子供に所持させるビーコンデバイスに GPS モジュールは搭載されておらず、すれ違った際に見守り人である大人のスマートフォンで位置情報を取得し、いつ、どこで大人とすれ違ったかを記録し、親などの予め登録した人に対して通知するサービスである。しかし、このサービスでは大人とすれ違った特定の時間と場所の情報を得られるが、過去にどのような場所に滞在して遊んでいたかという情報は得られない。

屋内位置検出を用いた子供の見守りサービスも研究されている [6][7]。この手法では屋内での迷子の防止や捜索について研究を行っている。屋内に通信モジュールを設置し子供に所持させたデバイスとの通信を行うため、設備が大掛かりになる。また、屋内での位置情報を基地局との RSSI などを用いた屋内位置推定に頼っているが、今回の我々の研究は主に屋外を対象にするため、GPS を利用した高精度な位置推定が可能である。

我々の先行研究にビーコンデバイスから BLE を用いて情報を集める手法として、無意識参加型センシングの研究がある [8]。この研究ではユーザが動作を意図せずにビーコンデバイスからのセンシングを行う。また、その際にビーコンデバイスを固定で設置し長期間動作させた。その結果、センシング参加者の流動性が高いほど多くのデータを取得可能であった。しかし本研究ではビーコンデバイスとスマートフォン側の双方が移動するため、期待したデータ量の通信が可能か不明である。そこで本研究では実際に開発したビーコンデバイスとスマートフォンを用いてすれ違い通信を行い、通信できたデータ量を調べる。

## 3. 提案手法

本研究では子供が遊んでおり、見守り人がいない場所には何かしらの危険があると考えた。その危険は大人が認知していない箇所が発生する可能性が高いと考え、潜在危険エリアという言葉の定義とその発見の手法について考案した。

### 3.1 潜在危険エリアとその発見法

我々はキャンプ場や大規模な公園などの特定区域内で子供が遊んでいる場合に、見守り人である大人が近くにいないような時間及び場所を潜在危険エリアとして定義できるのではないかと考えた。図 1 に潜在危険エリアの概要図を示す。潜在危険エリアは時間的潜在危険エリアと空間的潜在危険エリアに分けられる。時間的潜在危険エリアは普段子供が滞在する時間において見守り人が滞在しているが、とある特定の日時に見守り人がいない潜在危険エリアである。空間的潜在危険エリアは、日時にかかわらずその場所にはほとんど見守り人が滞在しないような場所である。

特定区域内で潜在危険エリアを発見するためには、すれ違い通信を用いる方法を考えた。GPS モジュール付きビーコンデバイスの子供に所持させ、留まって遊んだ記録を取得する。大人が所持しているスマートフォンとすれ違い通信が行い、その場所には見守り人がいるという情報を得られる。集めた多くの情報の中から子供が滞在して遊んでいるが空間的、時間的に見守り人とすれ違っていない記録を見つけ出せばそこが潜在危険エリアではないかという推測ができる。

### 3.2 システム構成

潜在危険エリア発見のために GPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを用いる必要がある。また、すれ違い時に通信を行うので、BLE モジュールを搭載したデバイスを用いる。さらに、子供がビーコンデバイスを持ち歩くため、堅牢性やバッテリーも重要な要件になる。

ビーコンデバイスを所持した子供がある地点に滞在して遊んだり、移動した経路や滞在した履歴を記録する。得られた移動履歴や滞在履歴はスマートフォンを持った大人とすれ違った際に転送される。データの転送には BLE を用いてデータの転送を行う。この際、我々は新しい位置情報の方が古い情報より価値があると判断し、新しい情報から転送するものとした。

また、同時にデータを受信するスマートフォンのアプリケーション設計も重要になる。すれ違い通信を行う上で途中で切断される可能性やビーコンデバイスが保存している全てのデータを転送出来ない可能性も考えられる。そのため、通信途中で切断された際にビーコンデバイスが蓄えた

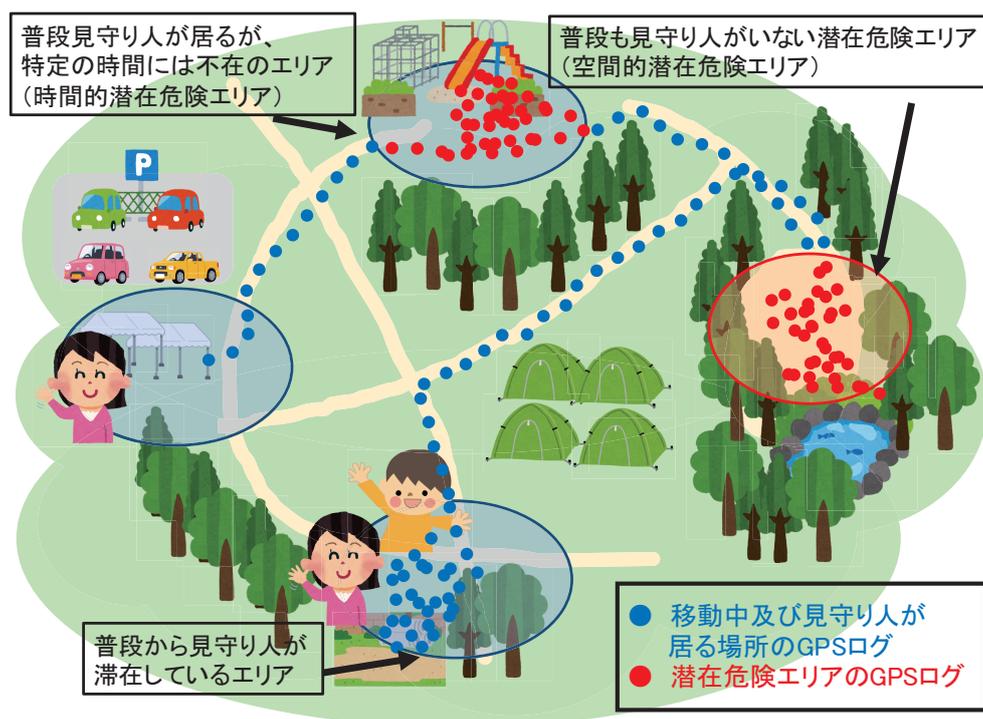


図 1 潜在危険エリア概要

データやスマートフォンに転送したデータを失わない手法を取る必要がある。更に対象エリアの規模を大きくするにつれてサーバへ転送されるデータの増加も想定できる。

以上の様に、各デバイスに要求される要件は低くは無いが、実現により子を持つ親にとっては自分の子供の移動経路とともに滞在して遊んだ箇所がわかり、親の目線から安全か危険かを判断可能なシステムであると同時に、施設の管理者にとっては想定していなかった潜在危険エリアを発見できる手法である。

#### 4. デバイスとスマートフォンアプリ開発

上記の要件に近づけたすれ違い通信を行うデバイスを開発した。ビーコンデバイス及びスマートフォンそれぞれの概要について述べる。それぞれは図2の流れを示すように通信を行えるように開発した。

- (1) ビーコンデバイスはBLEのアダバタイズを送出する。
- (2) スマートフォン側はセンサデバイスからのアダバタイズパケットを受信する。
- (3) スマートフォンはビーコンデバイスへ接続要求を行う。
- (4) スマートフォンはビーコンデバイスのキャラクタースティックにアクセスし、レコードの取得を行う。
- (5) 正常に取得が終了した後、スマートフォンはビーコンデバイスに対して取得したレコードのシーケンス番号を書き込む。
- (6) ビーコンデバイスがシーケンス番号の書き込みを確認し、次レコードをキャラクタースティックに格納する。

(7) (4) から (6) を繰り返し全てのデータを取得する。

(8) 全てのデータを取得したらコネクションを切断しスマートフォンはサーバへ転送する。

#### 4.1 ビーコンデバイス概要

GPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを図3のように作成した。ビーコンデバイスには RaspberryPi3 を用い、GPS モジュールとして GYSFDMAXB を搭載した。スマートフォンへのログデータの転送には BLE を用い、通信には内蔵の Bluetooth モジュールを利用した。また、Bluetooth のライブラリは BlueZ と Bleno[9] を用いた。

BLE はビーコンに用いられる片方向通信とデータの転送に用いられる双方向通信が利用可能である。通常時はアダバタイズを行った片方向通信を行っており、これを受信した BLE 対応機器は双方向通信の接続要求を行う。ビーコンデバイスも接続待機時の状態では常にアダバタイズを行っている。双方向通信でのデータ転送はキャラクタースティックという仕組みにデータを読み書きして行う。

BLE 通信では省電力性が利点となっている反面、一度に転送できるデータ量が限られている。また、安定した速度で通信を行える保証もなく、通信途中でデバイスがスマートフォンと離れてしまう可能性も考慮して設計を行った。そのため、データ量を抑制しつつ必要なデータを取得できるよう、表1に示す計 14 バイトの内容を 1 レコードとした。また、子供を一意に特定する ID が必要なため、BLE アダバタイズ時に設定できる major 値と minor 値を用い

て特定可能とした。

#### 4.2 スマートフォンアプリケーション概要

非同期通信によってビーコンデバイスと通信を行うスマートフォンアプリケーションを作成した。スマートフォンアプリケーションは起動後常時ビーコンデバイスをスキャンし続け、スキャン対象の UUID を持つビーコンデバイスを発見し次第 BLE 通信を確立する。通信が確立されたらビーコンデバイスよりログデータを取得しアプリケーション内にストックする。ログデータを全て取得し終えた、あるいはビーコンデバイスとスマートフォンとの距離が離れるなどして通信が途切れた場合に取得したログデータをサーバへアップロードする。

スマートフォンは AndroidOS 5.1 をインストールした Nexus6 を用いた。また、ビーコンデバイスからのデータ収集後は表 2 に示すデータをサーバへ送信した。スマートフォンアプリが実際に動作し、取得したデータをサーバへ転送した画面を図 4 に示す。作成したスマートフォンアプリでは、実験で正しくデータを取得したか確認するために、画面上でビーコンデバイスから受信したレコードを参照できるようにした。

表 1 1レコードの内容

| 内容      | 大きさ        | 詳細              |
|---------|------------|-----------------|
| 緯度      | 符号付き 4byte | 正は東経, 負は西経      |
| 経度      | 符号付き 4byte | 正は北緯, 負は南緯      |
| 時間      | 符号無し 4byte | unixtime        |
| シーケンス番号 | 符号無し 2byte | 0 から 65535 をループ |

ビーコンデバイス



スマートフォン

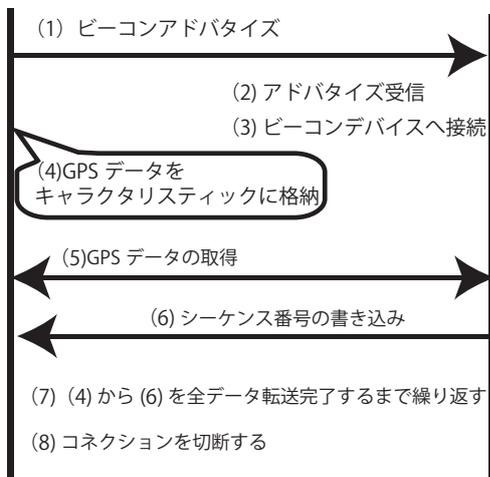


図 2 レコード転送の流れ

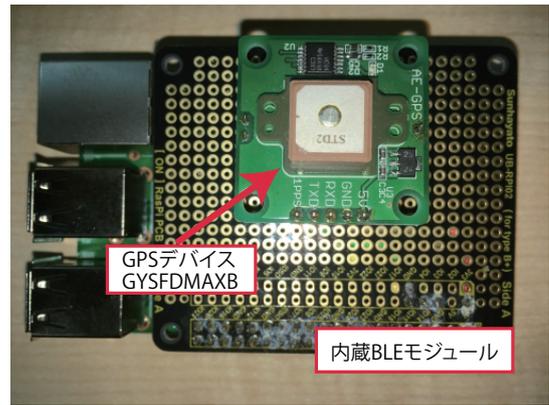


図 3 作成したビーコンデバイス

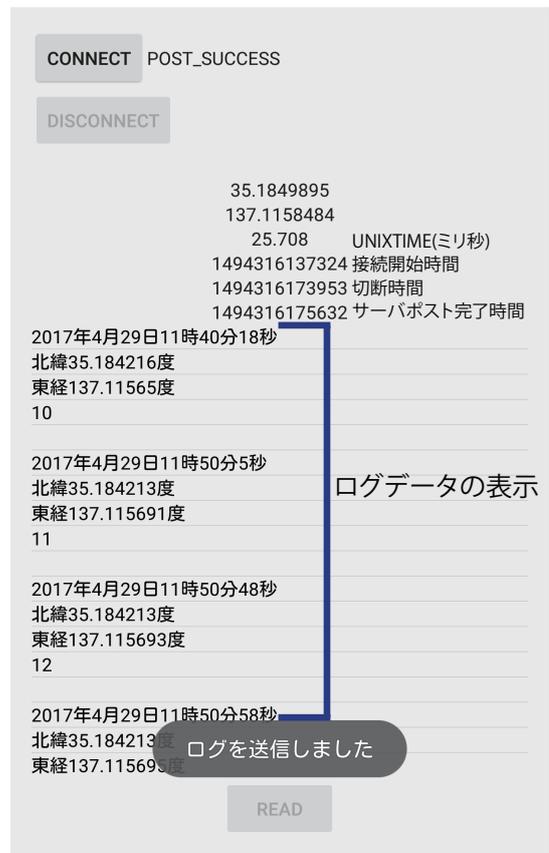


図 4 アプリ動作画面

表 2 サーバへ送信される内容

| 内容          | 詳細                              |
|-------------|---------------------------------|
| スマートフォン ID  | 見守り人を一意に特定するため                  |
| ビーコンデバイス ID | ビーコンデバイスへ設定された major, minor を利用 |
| 送信時緯度経度     | スマートフォンで GPS 情報を取得              |
| 送信時間        | unixtime                        |
| レコード情報      | ビーコンデバイスから収集したデータ               |

## 5. 実験

作成したデバイスの動作確認のための定点実験及び、すれ違い時の通信速度の測定のすれ違い実験を行った。実験

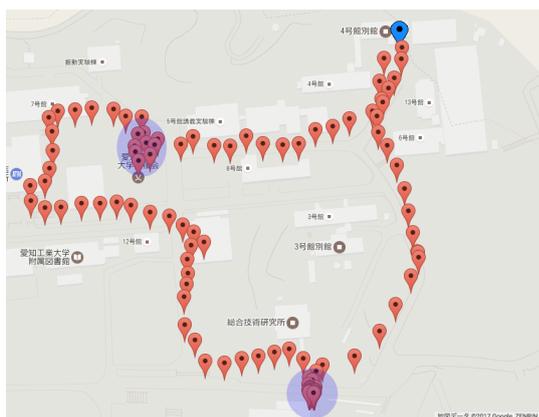


図 5 実験に用いた GPS データ

設定及び実験を行った結果，その考察について以下で述べる．

### 5.1 実験設定

データの転送の可否及びすれ違い実験との速度の比較を行うために，スマートフォンとビーコンデバイスを 30cm 離れた距離に固定してデータ転送を定点実験を実施した．実験で用いた 120 個の GPS データを図 5 に示す．取得は学内で行い，図の青い円で示す場所に一定時間滞在し，留まって遊んだデータを想定した．定点実験ではスマートフォンの Bluetooth を有効にしたタイミングでアドバタイズパケットを受信し，通信が開始する．通信開始からデータ転送終了までに要した時間をスマートフォンアプリにて求めた．

すれ違い実験ではビーコンデバイスを子供に所持させ持ち歩き，大人とすれ違った際にデータを転送する状況を想定し行った．また，ビーコンデバイスの GPS ログ間隔を決める参考にするために，定点実験と同様に 120 個の GPS データを用意し転送できたレコード数や全て転送するのに必要な時間を求めるために実験を行った．

すれ違い実験は愛知工業大学のグラウンドで行った．今回の実験では見通しで 140 メートル離れた状態であれば，スマートフォンはビーコンデバイスのアドバタイズパケットの受信を確認できなかった．よってこの距離から向かい合って歩き，データ転送を完了した時点での距離も測定した．

それぞれの実験は以下の手順により通信を行い，ビーコンデバイスとスマートフォンの接続の確立から，データ転送し切断するまでに要した時間を求めた．

- (1) 毎分 1 回，2 時間分のデータを想定し，予めビーコンデバイスへ 120 個のデータを所持させておく．
- (2) ビーコンデバイスはアドバタイズを行いながら接続待機を行う．
- (3) スマートフォンはビーコンデバイスのアドバタイズパケットを受信し，ビーコンデバイスへ接続要求を行う．

表 3 検証結果

| 回数 | 転送時間   | 1 レコードの転送時間 |
|----|--------|-------------|
| 1  | 19 秒   | 0.16 秒      |
| 2  | 17 秒   | 0.14 秒      |
| 3  | 18 秒   | 0.15 秒      |
| 4  | 18 秒   | 0.15 秒      |
| 5  | 17 秒   | 0.14 秒      |
| 平均 | 17.8 秒 | 0.15 秒      |

- (4) ビーコンデバイスとスマートフォンの BLE 接続が確立されたら，ビーコンデバイスは最新の値からキャラクタースティックに格納する．
- (5) スマートフォンはキャラクタースティックに収められている値を参照し取得する．
- (6) データを受け取ったスマートフォンは受け取ったシーケンス番号をビーコンデバイスへ通知する．
- (7) スマートフォンから通知されたシーケンス番号をビーコンデバイスが受信し，そのデータが正常に転送できたと判断し，一つ古いデータをキャラクタースティックに格納する．
- (8) (5) から (7) を繰り返す，全てのデータを転送する．
- (9) ビーコンデバイスが全てのデータを転送出来たと判断したら，接続を切断する．
- (10) 途中で接続が切れ，全てのデータの転送を完了できなかった場合，ビーコンデバイス側で正常に転送できたデータの削除を行う．
- (11) 以上の流れのトータルで必要とした時間を求め，1 レコードあたりに必要とした時間を分析する．

### 5.2 定点実験及び結果

定点実験は 5 回実施し，5 回とも全てのデータを転送できた．実験は，予めスマートフォンの Bluetooth を無効化した状態から，ビーコンデバイスの準備をした後にスマートフォンの Bluetooth を有効化し，ビーコンデバイスのアドバタイズパケットを受信して通信を開始した．検証の結果を表 3 に示すように，平均して 17.8 秒で 120 レコードの転送を終了しており，1 レコードに必要な転送時間は 0.15 秒程度となっている．結果より，1 秒あたりおおよそ 6 レコードから 7 レコードの転送が可能である．

### 5.3 すれ違い実験

すれ違い時はお互いに向かい合って歩いていき，スマートフォンがビーコンデバイスに近づいた際にアドバタイズパケットを受信したら接続が行われる．すれ違い実験は 10 回行い，10 回中 2 回は通信の途中で転送が中断したため，最後までデータの収集が出来なかった．成功時の結果を表 4，失敗時の結果を表 5 に示す．成功時には平均して 53.5 秒程度で全てのデータをスマートフォンへ転送している．また，見通しで 80m 程度離れた距離から接続が行われた．

表 4 すれ違い実験成功時結果

| 回数 | 接続時間   | 1レコードの転送時間 | 接続時距離 |
|----|--------|------------|-------|
| 1  | 60 秒   | 0.50 秒     | 80m   |
| 3  | 76 秒   | 0.63 秒     | 85m   |
| 4  | 88 秒   | 0.73 秒     | 90m   |
| 6  | 39 秒   | 0.33 秒     | 75m   |
| 7  | 37 秒   | 0.30 秒     | 80m   |
| 8  | 40 秒   | 0.33 秒     | 85m   |
| 9  | 46 秒   | 0.38 秒     | 75m   |
| 10 | 42 秒   | 0.35 秒     | 80m   |
| 平均 | 53.5 秒 | 0.45 秒     | 81.3m |

失敗時は数個のデータを転送出来たが、その後通信が途絶えている。また、失敗時には 100m と 95m と成功時より離れた位置から接続が確立されている。

表 5 すれ違い実験失敗時結果

| 回数 | 接続時間 | 転送レコード数 | 接続時距離 |
|----|------|---------|-------|
| 2  | 24 秒 | 1 個     | 100m  |
| 5  | 51 秒 | 2 個     | 95m   |

#### 5.4 考察

定点実験のデータより、キャンプ場などでの実際の運用を想定した場合においてビーコンデバイスを所持させた子供を遊んだ後に集合させれば、最大 400 レコードを 1 分で収集可能であると考えられる。これは 1 分に 1 度のロギングで 6 時間分の量である。例えば子供が半日見守り人とすれ違わずにロギングを行っても 2 分で概ね送信できると考える。しかし、子供の人数が 100 人の場合最後にまとめて収集する際に 200 分程度必要になるため、通信の手順やスマートフォンアプリの改善が必要と考える。

また、すれ違い実験の結果では、成功時には 1 レコード当たり平均 0.45 秒で転送が可能であった。これは 1 分当たり約 130 レコード転送できる速度である。接続時の距離は約 80 メートル離れた場所でデバイスへ接続された。この結果より、仮に 80 メートル離れた場所で切断されたとすれば、相対速度 8km/h なので、接続から切断までの最長通信時間が 1 分 10 秒程度あり、この場合には約 160 レコード程度転送できる。

失敗時の特徴として、遠い距離でビーコンデバイスへ接続した点が挙げられる。接続後数レコードを転送するのみという状態から、電波が弱い状態で接続が行われ、正常にデータの送受信を行えないまま切断されてしまったと考えられる。

2 時間に 1 回見守り人とすれ違おうと仮定すれば、毎分 1 回のロギングが可能であると考えられる。また、スマートフォンからビーコンデバイスへの接続時の信号強度にしきい値を設けることで改善が可能であると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では特定の施設内において、見守ってくれる大人が不在の場所で子供が遊んでいるエリアを潜在危険エリアとして定義した。また、既存システムにはない GPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを用いて施設や地域内の潜在危険エリアの発見を行うためのシステムを提案した。

提案手法を実現するために、ビーコンデバイスとスマートフォンアプリの開発を行った。ビーコンデバイスがロギングした GPS 情報はスマートフォンとビーコンデバイスのすれ違い時に BLE を用いて転送する。そこで、1 対 1 のすれ違い通信時に、ビーコンデバイスが取得した GPS データをどの程度の速度で転送可能であるか実験を行った。

実験では毎分 1 回、2 時間分のデータを想定して行ったが、通信がスムーズに行われた時には全てのデータを平均 53.5 秒で転送完了した。しかし、通信開始時に数レコードのデータを転送して切断されてしまう事象が確認できた。これは、接続後不安定なまま通信が行われずに切断されてしまったと想定できる。この不具合に対してスマートフォンアプリ及びビーコンデバイスの改善が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 石野達也, 今井一雅: 教室に設置された Beacon と学生のスマートフォンによる自動出席確認システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE technical report) 信学技報, pp. 39-43(2016. 10).
- [2] 長島弘志, 湯瀬裕昭, 渡邊貴之: 地域商店群を対象とした O2O アプリケーションの開発, 情報科学技術フォーラム講演論文集, pp. 523-524(2015. 8).
- [3] mamorio: 入手先 (<https://mamorio.jp/>). (参照 2017 年 5 月 10 日).
- [4] otta: 入手先 (<https://www.otta.me/>). (参照 2017 年 5 月 10 日).
- [5] 大内佑起, 田中成典, 安彦智史, 若林克磨: 見守りアプリケーションの開発, 第 75 回全国大会講演論文集, Vol2013, No. 1, pp. 111-112(2013. 3).
- [6] 木村峻介, 松本卓人, 矢澤櫻子, 星野准一, 李昇姫, 浜中雅俊: 屋内位置検出を利用した子ども見守りサービスシステム, 情報処理学会論文誌, Vol56, No. 3, pp. 856-868(2015. 3).
- [7] 杉野恭兵, 片山真也, 丹羽佑輔, 白松俊, 大園忠親, 新谷虎松: Bluetooth ビーコンを用いた居場所情報に基づく見守り支援システムの試作, 電子情報通信学会技術報告, vol. 114, No. 339, pp. 43-48(2014. 11).
- [8] 大村和徳, 菱田隆彰, 内藤克浩, 水野忠則, 梶克彦: 長期間動作による無意識参加型センシングのデータ取得特性の検証, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム, pp.1544-1549(2016.7).
- [9] A Node.js module for implementing BLE (Bluetooth Low Energy) peripherals. 入手先 (<https://github.com/sandeepmistry/bleno>). (参照 2017 年 5 月 10 日).