

〈一般研究課題〉 無意識参加型センシングを利用した子供見守り  
システムの構築とそれに基づく潜在的危険エリア発見  
助成研究者 愛知工業大学 梶 克彦



無意識参加型センシングを利用した子供見守り  
システムの構築とそれに基づく潜在的危険エリア発見  
梶 克彦  
(愛知工業大学)

Development of Child Care System and  
Detection of Potentially Dangerous Area

Katsuhiko Kaji  
(Aichi Institute of Technology)

**Abstract :**

In this paper, we propose a "Potentially Dangerous Area" detection concept. Additionally, we implement a beacon device with GPS module and smartphone application for "Potentially Dangerous Area" detection. Potentially Dangerous Area is spatio-temporal area that children playing without adult persons' watching. For example, if a child is playing with several play equipment and there are no adult person around there at the time, the child cannot call help when emergency case. Such temporal area is one of potentially dangerous area. Also, children may play at adult person's unexpected place such as beside of river or flume. Such place is one of potentially dangerous area. To detect potentially dangerous area, we developed a beacon tag that can record child's moving history, and android application for the data collection. Children possess beacon tag and record moved history, and adult people install special application to their smartphone. When child and adult passing each other, smartphone receive beacon and get log data from beacon tag using BLE (Bluetooth Low Energy). Received child's moving history and passing location are uploaded to cloud server. After collecting such data, we will try to find potentially dangerous area.

## 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ったりするサービスがある[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.

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.

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.

## 2. 潜在危険エリアという概念の提案

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で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.

### 2.1 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を子供に所持させ、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

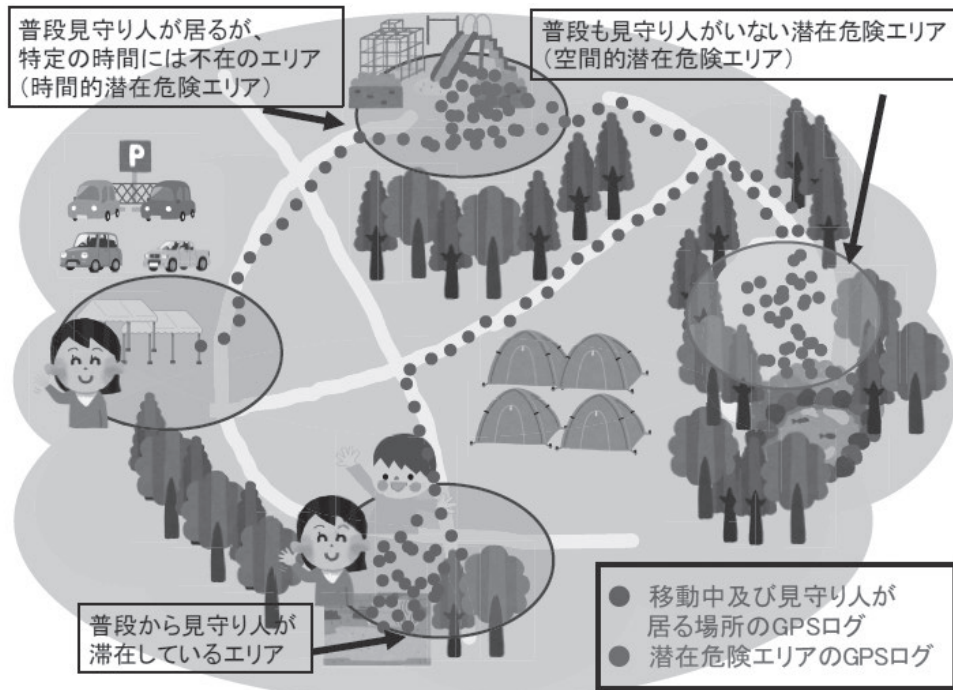


図1. 潜在危険エリア概要

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。

## 2.2 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、移動したり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際、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。

## 3. 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。通信の流れは以下のとおりである。

- (1) ビーコンデバイスはBLE のアド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ド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。

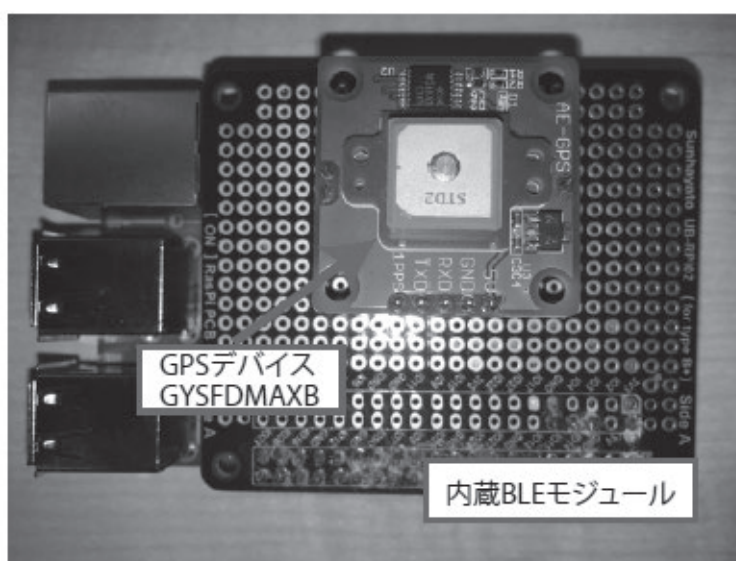


図2：作成した子供用位置履歴記録デバイス

### 3.1 子供が保持する位置履歴記録デバイス

子供が保持するGPS モジュールを搭載したビーコンデバイスを図2 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。通常時はアド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ド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アド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。

表1: BLE通信の1レコードに含める位置履歴情報

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

### 3.2 見守り人のスマートフォンにインストールするアプリケーション

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子供の位置履歴、すれ違った位置、時刻の情報をサーバへ送信した。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。

## 4. 評価実験

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。

### 4.1 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。データ取得は愛知工業大学内内で行い、一定時間滞在して留まって遊んだ部分と、移動した部分が含まれる。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、通信を開始する。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 ロギン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ため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.

(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)を繰り返し, 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.

## 4.2 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, 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秒程度であった. 結果より, 1秒あたりおよそ6レコードから7レコードの転送が可能である.

## 4.3 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ことがわかった. また, 見通しで80m程度離れた距離から接続が行われた. 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ることが原因であった. 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た.

## 4.4 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ことがわかった。

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。

## 5. まとめ

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).