

屋内避難時における携帯端末への通知による誘導効果

Induction effect by notification to the mobile terminal at the time of indoor evacuation

濱田 大祐¹ 武田 祐樹¹ 竹本 一哉¹ 中道 上¹ 渡辺 恵太² 小滝 泰弘³

Daisuke Hamada Yuki Takeda Kazuya Takemoto Noboru Nakamichi Keita Watanabe Yasuhiro Odaki

1. はじめに

日本は自然災害が多い国であるため、地震や台風による大雨や土砂崩れ、洪水などが頻繁に起きている。近年では、東日本大震災や 2011 年の台風 12 号といった大規模な自然災害が起きている。災害対策として文部科学省[1]では、学校施設の防災力強化プロジェクトを立ち上げている。このプロジェクトでは、学校施設の災害時の役割を重要視し、防災機能強化の取組が一層促進されるようにさまざまな検討を実施している。具体的には、東日本大震災で顕在化した課題等を踏まえたテーマを指定した上で各地域の特性等も加味したものなどが実施されている。

災害発生時の避難支援の研究では、屋外において GPS を用いた安全かつ迅速な避難を可能にする環境を整備するための研究が行われている。具体例を挙げると深田ら[2]によって、タブレット PC 向けに開発されたオフライン型 GIS に着目し、津波ハザードマップやユーザの現在位置・移動軌跡を表示することが可能な津波避難支援システムが提案されている。深田らは実験に GPS を用いて得たログデータを GIS 上で可視化し、実験結果を検証している。しかし、環境に屋内を想定した場合、GPS だと精度に問題が生じてしまう場合がある。そこで、発信型ロケーションシステムである「Bluetooth Beacon」が注目されている。

大型施設内で被災した際は、その施設の一部に崩落等の危険のある場所が発生する場合がある。現時点では施設の管理者等が現場へ向かい封鎖や誘導を行うが、到着するまでの時間が存在するため、二次災害を防止することが困難な場合がある。本研究では、Bluetooth Beacon を用いて立ち入り禁止空間への接近を携帯端末に通知することによる誘導効果について検証する。その際、実際の屋内環境に近い状況を作るために、3 方向への分岐路を模擬環境として作成した。分岐路を想定することで、実際の屋内環境に近い状況での実験結果を得ることができると考えられる。

2. 関連技術と関連研究

本研究を進めるにあたり、必要となる技術に位置情報取得システムが挙げられる。このシステムは、測位衛星やロケーション端末などを用いて携帯端末などから現在位置の情報についての取得を可能とするものである。代表的なものに GPS や Bluetooth Beacon などがある。

- 1 福山大学工学部, Fukuyama University
- 2 株式会社 DNP デジタルソリューションズ,
DNP Digital Solutions Co., Ltd.
- 3 株式会社信興テクノミスト, Shinko Technomist Co.

2.1 Bluetooth Beacon

Bluetooth Beacon とは、BLE を用いた発信型ロケーションシステムの一つである。BLE は「Bluetooth Low Energy」の略称でバージョン 4.0 以降の従来よりも大幅な省電力化がなされた規格のことでボタン電池一つでも数年の寿命を実現させている。GPS による測位が難しい屋内などでの位置情報を取得するシステムとして注目されている。以降、本論文では、Bluetooth Beacon を Beacon と呼ぶ。Beacon については、避難支援の活用技術として火災感知器へ搭載させる研究[3]なども行われている。本体の機能としても、電池非搭載のもの[4]や太陽光パネルを搭載したもの[5]などの開発が進められており、Beacon を用いたシステムの今後更なる飛躍が予想される。

2.2 Bluetooth を用いた位置情報の利用

白川ら[6]は、Bluetooth 通信を用いて GPS に頼らない歩行者ナビゲーションシステムを提案している。このシステムでは街角にポストと呼ばれる無線情報端末を設置し、目的地までの経路を各ポスト毎に管理させる。これにより、ユーザに細やかな情報を与えつつ、サーバに負荷をかけず、あたかもシステム側がユーザの位置を把握しているかのようなシステムの構築を提案している。白川らの研究は本研究と共通点が多くあるが、避難時において各ポイント毎に通信を行い、経路を判断しては処理の遅れによって誤って立ち入り禁止空間に進入してしまう危険性がある。また、白川らのシステムでは各ポスト毎に経路を設定しているため、施設管理者側の負担も大きくなり、避難時においては、運用が難しいと考える。

2.3 Beacon を用いた立ち入り禁止空間通知システム

建物内での被災時において、損壊及び崩落等の危険性のある地点が発生する可能性がある。その際、管理者が利用者に対して、その地点への立ち入り禁止をいち早く通知するために携帯端末を用いた通知システムが提案されている[7]。これにより、GPS が利用できない屋内での被災時にも滞在している施設内の立ち入り禁止空間を把握でき、迅速かつ円滑な避難が可能となるとしている。Beacon を用いて立ち入り禁止空間を設定し、人が立ち入り禁止空間に接近した場合に、接近した人の携帯端末に対して「立ち入り禁止空間への接近」を通知する。以降、本論文では、立ち入り禁止空間を「禁止空間」、損壊及び崩落等の危険性のある地点を「危険地点」と呼ぶ。

禁止空間通知システムでは、管理者が危険地点に隣接する Beacon を設定し、その情報を建物内にいる利用者の携帯端末に送信する。利用者の携帯端末内で設定された Beacon

の ID と受信した ID を照合し、一致した場合に禁止空間への接近と判定、利用者の携帯端末に「立ち入り禁止空間に接近しています」と表示するとともに音とバイブレーションを鳴動させる。本研究では藤井ら[7]が提案したシステムを用いて、屋内での分岐路における誘導効果についての検証を行う。検証実験では、模擬環境を用いて 3 方向分岐を想定し、システムの屋内避難時における誘導効果の検証実験を行うことで避難経路への誘導を支援する。

古館ら[8]は、屋内情報サービスの実現を目的に、Beaconを用いた測位手法を提案している。提案手法については、屋内環境における歩行者ナビゲーションシステム及び展示会等における位置連動型情報配信の利用を想定した検証実験から、その有効性を明らかにしている。古館らの研究では、歩行者ナビゲーションを想定した検証実験内で、携帯端末の保持方法に「歩きスマホ」「手振り」「バッグ内」の 3 つを想定している。本研究では、実験倫理の観点から「歩きスマホ」の危険性を考慮し、実験中は端末をポケット内に収納したまま行うこととしている。

3. 分岐路における誘導効果の検証実験

分岐路を想定した模擬環境を用いた屋内避難時における、携帯端末による通知の誘導効果の検証実験を行った。この実験では、屋内での災害遭遇時の避難経路において、携帯端末を用いた音とバイブレーションの通知による、誘導効果を検証するものとする。

3.1 端末の通知手法と携帯場所の事前調査

検証実験を行うにあたり、有効な通知手法についてアンケートを大学生 29 人に行った。このアンケートでは、危険な空間に接近する場合、携帯端末から通知する手段で有効なものを 3 つ挙げてもらい、回答結果を集計した。表 1 の結果より、危険な空間への接近を通知する際は、音とバイブレーションによる通知が有効である可能性が示唆された。

通知先である携帯端末の季節ごとの携帯場所のアンケートを大学生 54 人に行った。集計の結果を表 2 に示す。表 2 の結果より、検証実験では携帯端末の携帯場所は全体的に割合の高かったボトムスを想定することとした。

3.2 模擬環境の設置とテストパターンの作成

模擬環境の配置図を図 1 に示す。模擬環境はプラスチック製ダンボール柱を用いて左方向、直進方向、右方向の 3 方向分岐の状況を想定して設置した。設置間隔は床タイルサイズ(45cm×45cm)を基に、大人二人が通る際に余裕のある 180cm に設定した。通知の 8 つのテストパターンを表 3 に示す。参加者はそれらのうち 4 パターンの左方向、直進方向、右方向の 3 方向に分岐した避難経路を体験し、合計で 12 回通行可能であるかの判断を行った。

3.3 実験手順

実験手順を表 4 に示す。まず携帯端末の設定を行い、ボトムスのポケットに収納してもらう。次にスタート地点に移動し、設定された場所から左方向、直進方向、右方向の順に進んでもらう。そして、端末の通知により禁止空間への接近を認識した場合、その場で立ち止る。その際、参加者のつま先から Beacon 直下までの距離を測定する。通知がないと判断した場合はそのまま通過してもらう。また、3

表 1 有効な通知手法のアンケート集計結果

通知手法	人数(割合)
音	28 (97%)
バイブレーション	26 (90%)
画面点灯	11 (38%)
画面点滅	5 (17%)
画面表示	5 (17%)
ボイスアナウンス	4 (14%)

表 2 携帯端末の携帯場所のアンケート集計結果

季節	人数(割合)		
	アウター	ボトムス	カバン
春	13 (24%)	41 (76%)	7 (13%)
夏	1 (2%)	43 (80%)	13 (24%)
秋	12 (22%)	40 (74%)	8 (15%)
冬	33 (61%)	21 (39%)	7 (13%)
平均	14.75 (27%)	36.25 (67%)	8.75 (16%)

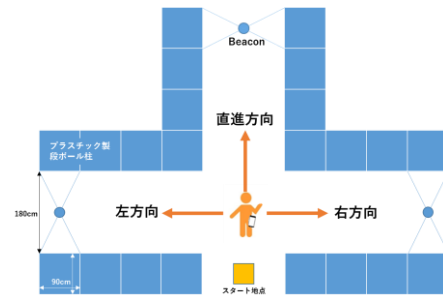


図 1 3 方向分岐を想定した模擬環境の配置

表 3 通知のテストパターン

テストパターン	左方向	直進方向	右方向
1	○	○	○
2	○	○	×
3	○	×	○
4	○	×	×
5	×	○	○
6	×	○	×
7	×	×	○
8	×	×	×

○ : 通知あり × : 通知なし

表 4 実験手順

手順	内容
1	携帯端末の設定を行う
2	参加者に携帯端末を渡し、ボトムスのポケットに収納してもらう
3	参加者にスタート地点へ移動してもらう
4	左、直進、右方向の順に進んでもらう
5	通知の有無を確認
6	通知があると判断した場合その場で静止
7	つま先から Beacon 直下までの距離を測定
8	通知がないと判断した場合そのまま通行
9	3 方向すべて進み終わるまでの所要時間を計測
10	1 へもどり、合計 4 パターン行う

方向全て進み終わるまでの所要時間を計測する。その後、端末の設定を変更してスタート地点へ戻り、合計 4 パターン分の避難実験を行う。参加者 1 人あたりの誘導効果の記録データは、4 パターン×3 方向=12 回分である。

実験に用いる携帯端末は参加者の私物ではなく、実施者側で事前に用意したものとした。また、研究倫理の観点から、参加者の疲労軽減のため、検証実験の実施時間は 30 分を超えないように設定した。

3.4 検証実験の実施と実験結果

3.1 節の調査の結果を利用して、携帯端末による音とバイブレーションを用いた通知の誘導効果を避難実験の実施により誘導効果を検証した。参加者 24 人の通知の判断距離及び誘導効果に関する実験記録を分析した。

誘導効果のデータは参加者 24 人×4 パターン×3 方向=288 回分を記録した。誘導に成功した回数は、250 回で全体の 87%という結果となった。また、誘導に失敗した回数は 38 回で全体の 13%という結果となり、9 割近い成功率を記録することとなった。これにより、屋内での 3 方向分岐路における、禁止空間通知システムの誘導効果を確認することができた。

通知の判断位置までの距離 (図 2) は、平均して Beacon から 66.8cm 手前の位置であることが分かった。しかし参加者たちの希望する通知距離の平均は 160.1cm 手前の位置だった。この結果から、実際に実験に参加した参加者たちは、分岐路からだいたい 2 から 3 歩通路へ足を進めた段階での通知を望む傾向にあることが分かった。このことから、現在よりもやや手前の位置で通知を判断できるように Beacon の設置位置の改良の必要がある。

4. 誘導効果の分析と考察

4.1 通知の有無による誘導効果

通知の有無に関する誘導効果の記録データを表 5 と表 6 に示す。記録データは全体数の 288 回を方向別に 3 分割し、さらに通知がある場合とない場合の 2 つに分割した 48 回分をそれぞれ記録している。データを集計した結果、通知があった場合よりも通知がなかった場合のほうが全体的に成功した回数が多いということが分かった。

通知の有無に関する記録データの、通知があった場合よりも通知がなかった場合のほうが全体的に成功した回数が多かったという結果は、通知手法に問題があるものと考察される。これは、現段階において、音とバイブレーションという通知の性質上、どの地点からの通知なのかを区別するのが難しいからであると考えられる。この問題を改善するために、通知手法の検討が必要である。

誘導の失敗については、通知に気づくことができなかった場合と、通知自体が失敗してしまった場合が考えられる。通知自体の失敗は、Beacon の指向性によるものが考えられる。指向性に問題があると 3 方向の分岐路のうち、どの経路の通知なのかかわからなくなるという問題があるためである。より高い精度での通知を可能とするために、誘導の失敗についての更なる分析と、Beacon に指向性をもたせるための改良が今後の課題となる。将来的には蛍光灯などすべて Beacon が設置されるような状況が想定され、一度に複数の Beacon による通知となる可能性があるため、誘導の失敗数を減らすことにつながると考えられる。

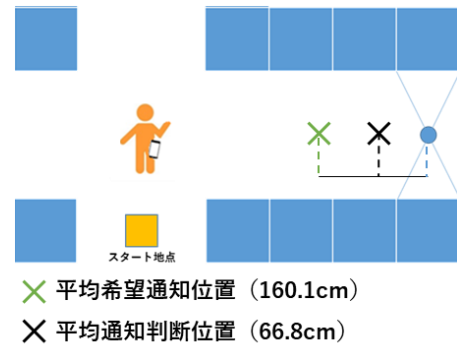


図 2 通知の判断位置

表 5 通知があった場合の誘導効果

	左方向	直進方向	右方向	平均
誘導成功 (停止)	29 回 (60%)	31 回 (65%)	24 回 (50%)	28 回 (58%)
誘導失敗 (通過)	19 回 (40%)	17 回 (35%)	24 回 (50%)	20 回 (42%)

表 6 通知がなかった場合の誘導効果

	左方向	直進方向	右方向	平均
誘導成功 (通過)	34 回 (71%)	32 回 (67%)	39 回 (81%)	35 回 (73%)
誘導失敗 (停止)	14 回 (29%)	16 回 (33%)	9 回 (19%)	13 回 (27%)

表 7 テストパターン別の誘導効果

テストパターン	誘導成功	誘導失敗
1	8 回 (67%)	4 回 (33%)
2	8 回 (67%)	4 回 (33%)
3	3 回 (25%)	9 回 (75%)
4	10 回 (83%)	2 回 (17%)
5	6 回 (50%)	6 回 (50%)
6	9 回 (75%)	3 回 (25%)
7	7 回 (58%)	5 回 (42%)
8	12 回 (100%)	0 回 (0%)
平均	7.875 回 (66%)	4.125 回 (34%)

4.2 テストパターンと方向別の誘導効果

検証実験では、全部で 8 つのテストパターンをそれぞれ 12 回ずつ 24 人に振り分けた。テストパターン別の誘導効果を表 7 に示す。データを集計した結果、最も成功した回数の多かったのはパターン 8 で成功数 12 回、割合にして 100%という数字を残すこととなった。逆に最も成功した回数が少なかったのはパターン 3 で、成功数 3 回で割合 25%、失敗した回数は 9 回で割合は 75%となっている。

テストパターン別の誘導効果の記録データから、通知数が 1 か所以下のテストパターンは成功率が高く、2 か所以上の通知を行うテストパターンは成功率が低くなる傾向にあることが分かった。なお、通知数が 1 か所以下のテストパターンは 4, 6, 7, 8 で、2 か所以上の通知を行うテストパターンは 1, 2, 3, 5 である。しかし、1 か所以下の通

知数であるにもかかわらず、テストパターン 7 は全体的に低い成功率を記録している。また、2 か所以上の通知を行うテストパターンであるにもかかわらず、テストパターン 1 と 2 が全体的にみてやや高い成功率を記録しているなど、記録データには若干ばらつきがみられた。成功率の低下については、通知を行う位置が増えることで通知位置の特定が困難となるためであると考察されるが、記録データについての更なる分析が必要である。

方向別の誘導効果を表 8 に示す。方向別の誘導効果のデータは、全体数の 288 回を方向別に 3 分割し、それぞれ 96 回分を記録した。誘導に成功した回数は左方向と右方向でほとんど差異がみられなかったのに対し、直進方向では他二つを下回る結果となった。

方向別の記録データから、直進方向の成功率の低さを確認した。これについては、設置した屋内環境において直進方向のみが、ほかの 2 方向と異なり、壁に非常に近い形で Beacon を設置したことが原因として考えられる。これは Beacon の球状に電波を放つという性質から、本来通知範囲となるはずであった地点が、壁により消失してしまっているためであると考えられる。

4.3 所要時間の推移と回数別の誘導効果

参加者 24 人の回数ごとの平均所要時間の推移を表 9 に示す。避難開始から 3 つの分岐すべての経路を判断する時間は全体で平均して 21.6 秒であり、それぞれ 1 回目から 4 回目まで回数を経るごとに短縮される傾向にあった。そのため、環境に慣れ、避難訓練を繰り返すことでより迅速な避難が可能となっていくと考察される。

参加者 24 人の回数別の誘導効果を表 10 に示す。回数別の誘導効果の集計については、表 3 の 1 パターンにつき、どれか一つでも誘導に失敗した場合は失敗とみなし、3 方向すべての誘導に成功した場合のみ成功とし、24 人の参加者のデータを集計した。その結果、回数ごとに数値の大きな変化はみられなかった。

誘導効果は回数を重ねても大きく変化することはなかったことから、環境への慣れは所要時間の短縮を可能とするものの、誘導効果を高める要因となりえないことが考察される。

5. まとめと今後の課題

本研究では、屋内避難の分岐路を想定し、携帯端末の音とバイブレーションを使用した禁止空間への接近通知による誘導効果の検証実験を行った。実験の結果、成功率が全体で 87% であり、分岐路における避難経路への誘導効果が確認できた。

誘導効果の分析を行った結果、通知の有無で分けた場合、通知がある場合よりもない場合のほうが成功率は高くなる傾向にあることが確認された。テストパターン別では、2 つ以上の通知を行うと成功率が低くなる傾向がみられた。また、方向別では直進方向の成功率が低いことが確認され、回数別では大きな数値の変化はみられなかった。

今後の課題として、通知精度向上のため、記録データの更なる分析とともに、Beacon の指向性向上のための実験、通知距離の最適化、通知手法の強化が必要であると考えられる。より迅速な避難を可能とするためには、本研究で用いた、3 方向の分岐路においてすべての経路を音とバイブレーションによる通知で確認する手法と、分岐路に差し掛か

表 8 方向別の誘導効果

	左方向	直進方向	右方向	平均
誘導成功	85 回 (89%)	79 回 (82%)	86 回 (90%)	83.33 回 (87%)
誘導失敗	11 回 (11%)	17 回 (18%)	10 回 (10%)	12.67 回 (13%)

表 9 参加者 24 人の回数ごとの平均所要時間の推移

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均
平均所要時間 (秒)	24.6	22.9	19.4	19.4	21.6

表 10 参加者 24 人の回数別の誘導効果

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均
誘導成功	16 回 (67%)	15 回 (63%)	17 回 (71%)	15 回 (63%)	15.75 回 (66%)
誘導失敗	8 回 (33%)	9 回 (38%)	7 回 (29%)	9 回 (38%)	8.25 回 (34%)

った時点で最短経路を画面で通知し、誘導する手法との比較実験を行うことも重要であると考察される。その場合、画面設計を行うことも必要となる。そして、本研究で行っているのは通知による誘導効果の検証のみであり、通知後の指示手法に関する検証は行っていない。より円滑な避難を実現するために、通知後の指示手法を確立することも今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] 文部科学省:「学校施設の防災力強化プロジェクト」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/bousai/1335713.htm
(2018/1/25 アクセス)
- [2] 深田秀美, 橋本雄一, 赤渕明寛, 沖覬行, 奥野祐介:「タブレット PC を用いた津波避難支援システムの提案」, "マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013) シンポジウム", 2013.
- [3] スマートジャパン:「火災感知器を IoT 化, 施設情報をスマホに通知」
<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1712/27/news062.html>
(2018/1/25 アクセス)
- [4] 株式会社富士通研究所:「業界初! 変幻自在で電池交換不要なビーコンを開発」
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/03/25.html>
(2018/1/25 アクセス)
- [5] 産経ニュース:「新型ビーコンで観光案内 東大寺, 外国人向け実証実験」
<http://www.sankei.com/region/news/161111/rgn1611110056-n1.html>
(2018/1/25 アクセス)
- [6] 白川洋, 歌川由香, 福井遼太郎, 重野寛, 岡田謙一, 松下温:「無線情報端末を利用した歩行者ナビゲーションシステムの提案」, 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN) 2003(1(2002-GN-046)), 71-76, 2003.
- [7] 藤井誠貴, 中道上, 渡辺恵太, 小滝泰弘, 「Beacon を活用した屋内における危険エリア通知システムの提案」, 平成 28 年度 (第 67 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会論文集, 'R16-25-09, 2016.
- [8] 古館達也, 堀川三好, 工藤大希, 岡本東:「Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた屋内測位手法に関する研究」, FIT2015(第 14 回情報科学技術フォーラム), M-009, 2015.