

# ジオフェンシングを用いた 災害時避難支援のための移動検知システム

陶山 聖<sup>†</sup> 井上 潮<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東京電機大学 工学研究科 情報通信工学専攻 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番

<sup>‡</sup> 東京電機大学 工学部 情報通信工学科 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番

E-mail: <sup>†</sup> 16kmc16@ms.dendai.ac.jp, <sup>‡</sup> inoueu@mail.dendai.ac.jp

**あらまし** 日本では毎年様々な災害が発生し、多大な被害に遭っている。現在、災害時の危険地域の情報を住民に知らせる手段としてハザードマップが用いられているが、この利用状況は低く、災害に関する情報は十分に提供できていないと考えられる。本研究では住民に災害情報を適切に提供し、避難支援を行うための住民の移動検知システムを検討した。手法としてはジオフェンシング技術を用いた危険領域に対する住民の行動検知に加え、危険領域の周辺に警告領域を自動的に生成することにより、住民が危険に晒される前から情報の取得を可能にしている。このシステムの実現性を確認するため、警告領域の生成結果に対する評価と、移動検知機能の確認を行った。

**キーワード** ジオフェンシング, 位置情報サービス, swift, iOS アプリケーション, 災害時支援システム, 避難支援

## 1. はじめに

日本は地形や気象などの条件から様々な災害が発生し、毎年多大な被害に遭っている。災害が発生したとき素早い避難が重要となるが、平成 22 年に行われた内閣府によるアンケート調査[1]によると、対象地域全域で発令された避難勧告または避難指示を見聞きしてとった行動として「自宅にとどまった」が 68.9%となっている。この自宅にとどまった理由として「夜間・大雨の中、避難を選択するほうが危険と判断した」と同じ割合で「自分が被害を受けるとは思わなかった」が上位を占めていた。こうした結果から災害が発生した際に発信された情報が住民の周りで起きていることだと認識しない現状がある。

また近年、気候の変化などを原因に、発生する災害の傾向に変化が見られる。ここでは大雨の発生件数に注目する。国土交通省の資料[2]より 1 時間の降水量 50mm 以上の大雨の発生件数を見ると、1976 年から 1985 年の平均 174 回である。対して、2004 年から 2013 年の平均は 241 回と約 1.4 倍増加している傾向が見られた。こうした気象状況の変化により、近年の大規模な土砂災害などに繋がると考えられる。

現在、災害時の危険地域や避難情報を知らせる手段として、ハザードマップが存在する。ハザードマップは一般的に災害による被害が想定される地域の表示や、避難場所など防災関係施設の位置が表示された地図である。しかし課題としてハザードマップの活用状況が挙げられる。茨城県常総市の住民を対象とした平成 27 年関東・東北豪雨に関するアンケート調査[3]において、ハザードマップを見たことがあると答えたのは 3 割程度であった。さらに水害発生時にハザードマップを見たのは全体の 5%という結果となった。このことから、

現状ではハザードマップは災害時に十分に活用されていないことがわかった。またハザードマップの作成には時間がかかるため、ハザードマップだけでは近年の変化する災害状況に対応しきれないと考えられる。

以上の現状から我々は住民の居場所や行動をシステム上で観測し、それに対応した災害情報の提供方法の検討を行っている[4]。この方法を活用すれば利用者は滞在している場所で起きている災害の認識が可能となる。また刻々と変化する災害状況を適切に伝えることで、災害の被害を減らせるのではないかと考える。しかしこの方法だけでは危険領域に進入してから情報の提供を行うため、情報が利用者に認識されるまでの遅さに課題があった。そこで本論文では、利用者への早い段階での情報通知を可能にするため、危険領域の周囲に警告領域を自動的に生成する方法と、実際のハザードマップに見られるような複雑な形状をした領域に対する利用者の移動を検知する方法について述べる。

## 2. 関連研究

濱村らの研究[5]では、災害時支援システムとして市や自治体が提供している避難所や AED などの避難支援情報をベースに、利用者から投稿された避難支援情報により、充実した情報の地図システムを開発した。また、ゲーミフィケーション機能を用いることで平時からのシステム利用の促進を実現している。

渡辺らの研究[6]では、モバイル端末を活用し、災害時における最短避難経路提示システムの開発として、ダイクストラ法を用いた最短経路探索を行っている。またこの研究では、GPS 付き携帯電話が使用できない場合を想定し、Wi-Fi で代替することにより避難経路と移動経路を継続して表示することを可能としている。

天野の研究[7]では、オープンデータである国土数値情報を用いた、スマートフォン上に洪水ハザードマップの表示を可能とするアプリケーションを開発している。この研究では浸水想定区域と避難施設の表示に加え、情報の検索や避難所へのルート検索など、災害時に必要となる機能を検討し実装している。

以上のように災害に関する情報の収集、分析、提案を行う研究は多く存在する。このような災害に関する情報を住民に適切に提供して活用するため、本研究では防災に関する情報を必要とする位置や状況で提供することにより、災害による被害を減らすためのシステムを提案する。

### 3. 提案手法

#### 3.1. システムの流れ

本システムでは住民一人ひとりの行動の把握が必要となる。そのため人々が個人で普段から手元に持ち情報のやり取りをするスマートフォンを介して情報の取得・提供を実現する。そしてスマートフォンのアプリケーションとして以下の動作を実現させる。

- ① 災害による被害が発生している地域として設定した領域を危険領域とし、地図上に描画する
- ② 危険領域の周囲に警告領域を自動的に生成し、地図上に描画する
- ③ 利用者の行動を監視し、警告領域と危険領域への接近を検知する

①では危険領域を地図上に描画することで、視覚的に危険領域を確認することを可能にする。

②では危険領域の周囲を警告領域とすることで、危険領域への接近を検知し、災害の影響を受ける領域に進入する前から利用者に情報を届けることを可能にしている。

③では危険領域と警告領域に対して利用者の位置を判定し、領域に進入しているのであれば、その時に災害情報を提示することで素早い避難を実現させる。

このシステムの流れを図1に示す。

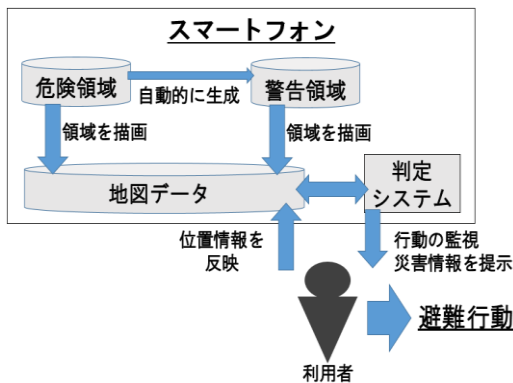


図1. システムの提案

以上の手法を実現させることで、警告領域を用いた危険領域への接近の検知と、災害が発生している危険領域に対する利用者の出入りを検知することができる。これにより、利用者の位置や状況に応じて情報の提供をすることが可能となる。これにより利用者は自身のいる場所で必要となる情報を受け取ることができるため、災害による被害を受けないよう素早く避難行動に移ることができる。

#### 3.2. ジオフェンシング

##### 3.2.1. ジオフェンシングとは

人々の行動に合わせて情報を提供するために、本研究ではジオフェンシング技術を用いる。ジオフェンシングは特定のエリアに仮想的な「フェンス」を作る仕組みである。このフェンスにシステムの利用者がスマートフォンを持って出入りすると、それを検知し適切な情報を送ることができる手法である。この手法を用いて利用者のフェンスの出入りから行動を検知する。

図2にジオフェンシングの動作例を示す。



図2. ジオフェンシングの動作

##### 3.2.2. 使用アルゴリズム

本研究ではジオフェンシングを実現するため、交差数判定アルゴリズム [8] を用いる。このアルゴリズムは対象とする点から水平線を引き、その水平線と多角形が交差する数で判定する。交差数が奇数であれば点は多角形の内側に、偶数であれば外側にいると判定する。

図3にアルゴリズムの動作例を示す。

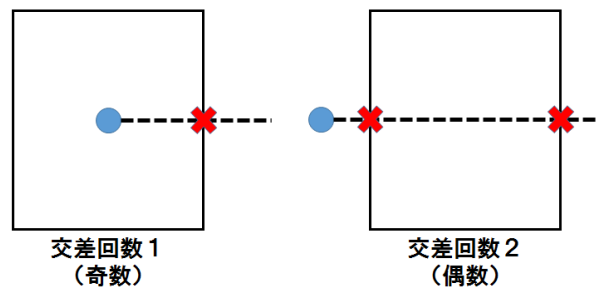


図3. 交差数判定アルゴリズム

このアルゴリズムを本研究に当てはめると、対象とする点を利用者の位置座標、多角形を危険領域と警告領域にする。そして位置座標から水平線を伸ばし、危険領域と警告領域のそれぞれと交差数を判定する。このとき利用者の位置座標を定期的に取り得し、その度に交差数判定を繰り返し実行することで利用者の行動を判定する、これにより利用者の行動が領域の内外のどちらなのか検知できるため、ジオフェンシングとして機能することが可能となる。

### 3.3. 警告領域の生成方法

警告領域を生成する手順は以下の通りである。

- ① 対象とする危険領域の中心点となる位置座標を求める。
- ② ①で求めた中心点を原点と設定し、危険領域を構成する座標と比較して、拡大させる時の移動方向を決める。
- ③ 危険領域を構成する座標を変化させ、図形を拡大させる。

①で求める危険領域の中心点の座標を得るため、今回は座標の重心を求めることで中心点の値を得る。

②はそれぞれの座標値を比較することで実現する。

③では各座標を 100m 変化させている。この 100m は地図の縮尺より求めた数値を使い、それぞれの座標値を変化させている。

警告領域を生成する手順を図 4 に示す。

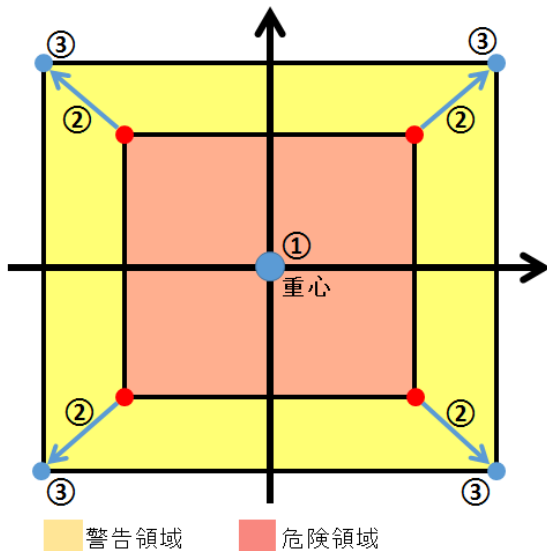


図 4. 警告領域の生成

### 3.4. 対象データ

本研究で想定している危険領域のデータは 2 種類を想定している。

一つ目のデータは国土交通省国土政策局国土情報

課の国土数値情報が提供している浸水想定区域データ [9] である。このデータは各河川管理者が浸水想定区域図のデータを浸水深ごとのポリゴンで GML 形式およびシェープファイル形式で都道府県別に作成されたものである。このデータを利用する理由として、特定の地域に対する被害予測が行われているデータを用いることで、災害発生時に速やかに利用者の行動の検知を実現するためである。浸水想定区域データの内容を表 1 に示す。

表 1. 浸水想定区域データ

属性名	内容
範囲	浸水想定区域の範囲
浸水深	当該浸水想定区域図に示されている浸水深から得られた浸水深のランクコード
作成種別	当該浸水想定区域図を作成した自治体の都道府県、機関等を表すコード番号
作成主体	当該浸水想定区域図を作成した機関名
指定年月日	当該浸水想定区域図を指定した年月日
告示番号	当該浸水想定区域を告示した際の告示番号
対象となる河川	当該浸水想定区域の指定の対象となる河川の名称と実施区間
指定の前提となる計画降雨	当該浸水想定区域の指定の前提となる計画降雨
関係市町村	当該浸水想定区域に関係する市区町村名
備考	浸水想定区域図の説明、また注意事項

二つ目はシステムを管理する側から設定するエリアである。浸水想定区域データは予め予測されたものであり、近年の変化する災害状況に対応できない恐れがある。そこで予測外の災害であっても、システムを管理する側から必要に応じてエリアを追加することで、状況に応じて速やかな避難を実現する。

## 4. 開発環境

ユーザへの情報の提示、また位置情報を取得する必要があることから、スマートフォンの中でも利用者が多いとされる iPhone を対象としたアプリケーションを開発する。そのため、開発アプリケーションには Xcode9、言語は swift4 を用いる。アプリケーションの実行・テストは Xcode に付属しているシミュレータと、実機の iPhone6 を用いる。

## 5. システムの実装

### 5.1. システムの構成

システムの構成を説明する。利用者の行動検知と情報の提示・管理を行うスマートフォンと、災害状況を提

供するサーバから構成する。

スマートフォン内のアプリケーションは位置情報を定期的に取得する。そして保存されている危険領域と警告領域に対するフェンスの設置を行う。これによりジオフェンシングによる利用者の行動の検知を実現し、それに連動した災害情報の提示動作を行う。これにより利用者の避難行動を促進する。また危険地域を表す浸水想定区域データなどの防災情報はシステムの基盤となるデータであるため、スマートフォンにアプリケーションを導入する際に端末に格納する。

そしてサーバは、アプリケーションが機能すべき契機を把握するため、インターネット上から警報・注意報といった情報を取得する。その情報から災害が発生しているかを判断し、災害が発生している、また発生のおそれがある場合はスマートフォンに対して災害の情報を送信し、アプリケーションの機能を動作させる。また、任意のエリアを地図上に設定し、その座標データをスマートフォンに送信する。

災害発生情報はインターネット上から避難勧告や警報を収集し、現在発生している災害を把握する。

これらの機能を実現するシステムの構成を図 5 に示す。

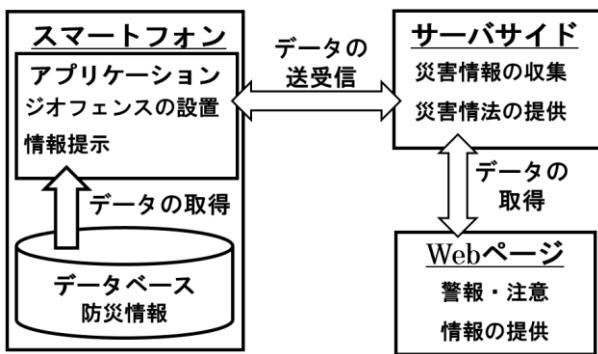


図 5. システムの構成

## 5.2. システムの動作

主にスマートフォン内のアプリケーションの動作を説明する。

平時では、スマートフォン内に格納されている防災データを地図上に可視化して、閲覧を可能とすることで利用者が災害に備えるための情報を提供する。

災害発生時は危険領域の設定と警告領域の生成、フェンスの設定を行い、アプリケーションが行動の検知を開始する。そしてフェンスに対する利用者の出入りを検知して必要となる防災情報を提示するための動作を行う。災害時の想定として、情報を提示する契機は利用者が警告領域に進入した場合と、危険領域に進入した場合、災害発生時に利用者が危険地域に滞在して

いる場合の三つである。この内容を踏まえ、図 6 ではアプリケーションの表示画面と利用者の行動を想定した。図中の番号に従ってシステムの動作を説明する。

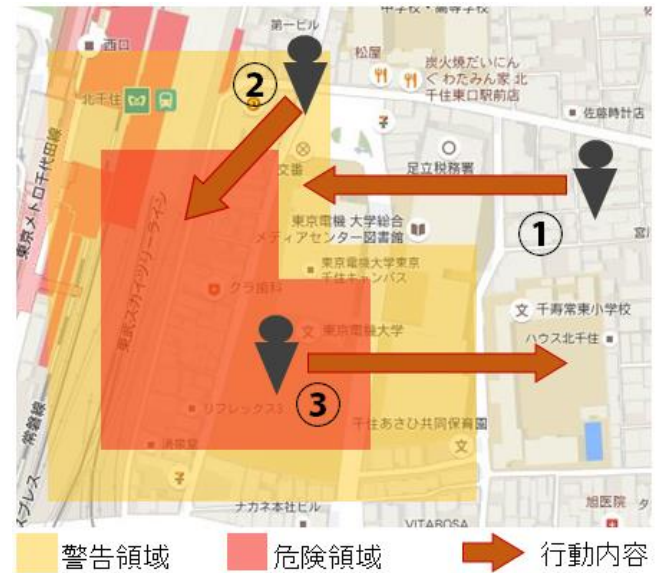


図 6. システムの動作

- ① 利用者が警告領域に進入したとする。警告領域は危険領域の周囲に存在しているため、警告領域の進入は災害が起きている場所に利用者が近づいていることになる。よって警告領域への進入を検知した位置で危険領域に接近している情報と、災害情報を提示することで素早い避難を促す。また利用者が警告領域から出れば、危険領域から離れたとして、そのことを通知する。
- ② 利用者が危険領域に進入したとする。危険領域は実際に被害が起こりうる場所であるため、①の時よりも危険であることを強調した情報の提示を行い、素早い避難を促す。
- ③ 利用者が危険地域に滞在している場合、位置情報から危険地域にいることを検知して情報を提示し、素早い避難を促す。

以上の動作を実現するべく、作成したアプリケーションの表示画面を図 7 に示す。

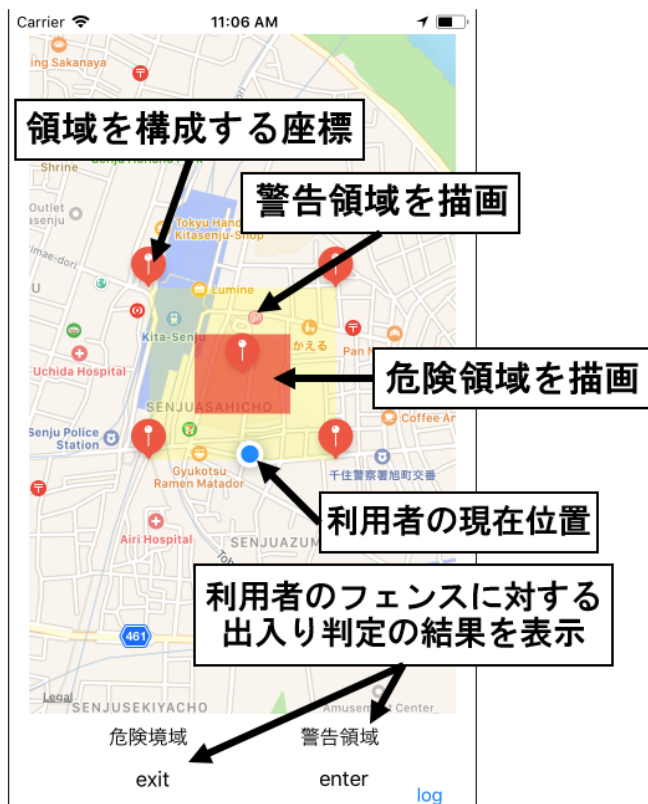


図 7. アプリケーションの表示画面

画面には地図を表示し、その上に利用者の位置情報、危険領域、警告領域を描画している。これにより視覚的に利用者の居場所と災害が起きている場所を比較し、避難行動につなげることができる。また利用者のフェンスに対する出入り判定の結果を、危険領域と警告領域のそれぞれに分けてシステム上に表示している。

以上のように、利用者の行動に対応して必要な情報を提供することが可能となれば、速やかな避難が可能となり、災害による被害の軽減につなげることができると考える。

## 6. 評価実験

### 6.1. 実験方法

利用者の行動を正しく検知できることを検証するため、二つの実験を行った。

- ① 利用者が危険領域に接近していることを検知するための実験として、危険領域から警告領域を自動的に生成されるかを検証する。
- ② 行動検知の実験として、危険領域と警告領域に対する利用者の行動の検知が正しく行われているかを検証する。また警告領域への進入が危険領域への接近になることを確認する。

対象とする危険領域として、2種類のデータを用意す

る。一つ目は管理者が作成することを想定した4点の座標から長方形のポリゴンデータである。二つ目は浸水想定区域データから選択した二つのポリゴンデータを用いる。

### 6.2. 実験環境

実験環境として、管理者が作成することを想定したポリゴンデータは実機の iPhone6 とシミュレータを用いて実際に屋外を移動して実験を行った。

浸水想定区域データはシミュレータ上で動作させ、実験を行った。

シミュレータでの利用者の移動情報は GPX 形式で作成したデータを用意し、それを利用者の行動と設定して座標データを取得した。

### 6.3. 実験結果と課題

実験①の結果について述べる。図 8, 9, 10 では、それぞれの危険領域に対する警告領域を自動的に生成し、地図上に描画していることを表している。すべての警告領域が危険領域の周囲を囲う形で生成されていることが確認できる。

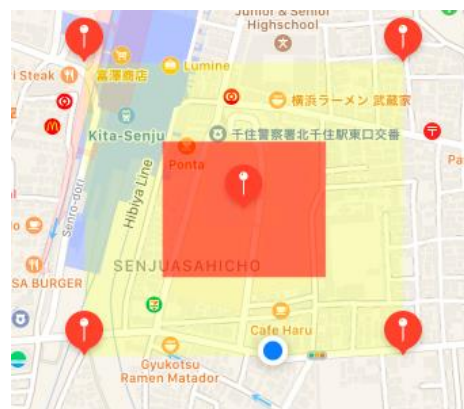


図 8. 任意に生成したポリゴンの実験結果

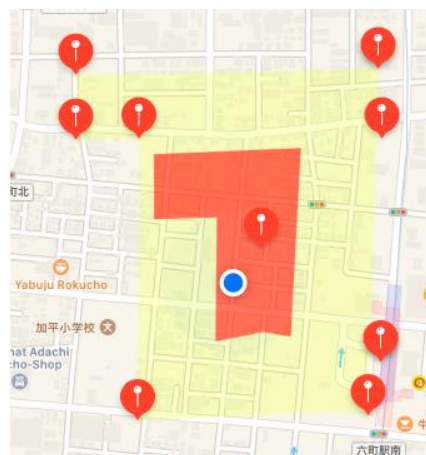


図 9. 浸水想定区域から生成した実験結果①



図 10. 浸水想定区域から生成した実験結果②

実験②の結果について述べる．図 11 は任意に生成したポリゴンをシミュレータ上で動作させた場合の移動ルートと検知した位置を表している．図中の検知した位置を見ると，各領域への出入りに対応して移動の検知を行っていることがわかる．



図 11. 任意に生成したポリゴンに対する移動ルートと検知位置

しかし検知した位置には誤差が見られる．表 1a は検知位置からフェンスまでの誤差と各領域の場合の平均，全ての値の平均を表している．

表 1. 任意に生成したポリゴンの検知結果  
(a)シミュレータ (b)実機

	誤差[m]
警告検知1	23.6
危険検知1	95.1
危険検知2	21.2
危険検知3	7.2
危険検知4	8.9
警告検知2	13.6
警告検知平均	18.6
危険検知平均	33.1
平均誤差	28.3

	誤差[m]
警告検知1	4.8
危険検知1	102.5
危険検知2	16.3
危険検知3	19.5
危険検知4	25.0
警告検知2	6.4
警告検知平均	5.6
危険検知平均	40.8
平均誤差	29.1

結果を見ると，最も誤差が少ない場合は 7.2m であるので対して，最も大きい誤差は 95.1m であり，検知の精度にばらつきがあることがわかった．

表 1b は図 11 と同じルートを実機で実験した結果である．検知した回数はシミュレータの場合と同じだが，警告領域の検知誤差の平均はシミュレータの平均よりも低く，全ての平均の値も 1m 程度の違いであった

次に図 12 は浸水想定区域から生成した場合の移動ルートと検知した位置を表している．図中の検知した位置を見ると，各領域への出入りに対応して移動の検知を行っていることがわかる．しかし図の下部にて，危険領域と警告領域から離れた位置で出入り判定が行われたことが確認できた．

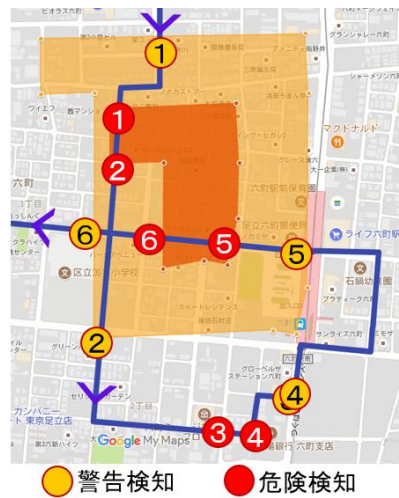


図 12. 浸水想定区域を生成した移動ルートと検知位置①

表 2 はこの時の検知結果の誤差を表している．

表 2. 浸水想定区域を生成した場合の検知結果①

	誤差[m]
警告検知1	27.1
危険検知1	18.9
危険検知2	3.7
警告検知2	6.5
危険検知3	241.7
危険検知4	247.8
警告検知3	91.5
警告検知4	91.6
警告検知5	15.5
危険検知5	16.1
危険検知6	16.2
警告検知6	13.0
警告検知平均	40.9
危険検知平均	90.7
平均誤差	65.8

結果を見ると各領域から離れた位置で検知が行われたため、誤差の値は大きい結果となった。しかし警告領域で最も誤差が少な場合は 6.5m, 危険領域で最も誤差が少ない場合は 3.7m といった高い精度で検知を行った場合もあるため、検知結果にばらつきが見られる。

図 13 はもう一つの浸水想定区域から生成した場合の移動ルートと検知した位置を表している。図中の検知した位置を見ると、各領域への出入りに対応して移動の検知を行っていることが確認できた。



図 13. 浸水想定区域を生成した移動ルートと検知位置②

表 3 は検知結果の誤差を表している。結果を見ると、最も誤差が少ない場合は 1.0m であるので対して、最も大きい誤差は 89.5m であり、検知の精度にばらつきがあることがわかった。

表 3. 浸水想定区域を生成した場合の検知結果②

	誤差[m]
警告検知 1	61.9
危険検知 1	11.8
危険検知 2	89.5
警告検知 2	1.0
警告検知 3	10.6
危険検知 3	24.2
危険検知 4	31.6
警告検知 4	25.3
警告検知平均	24.7
危険検知平均	39.3
平均誤差	32.0

以上の結果から、長方形のポリゴンや凹凸を持つポリゴンに対する出入り判定が行われていることが確認で

きた。また危険領域に進入する前に警告領域の出入り判定が行われることで、危険領域への接近を検知できることが確認できた。

今後の課題を二つ挙げる。一つは警告領域の生成方法についてである。図 9 では警告領域が極端に狭い箇所が存在する。また図 10 で生成した警告領域の形状は、元の危険領域の形状が持っていた特徴が減ってしまい、長方形に近い形に変化したように見える。このように領域の形状の特徴を失えば、利用者の行動の観測が正確に行えず、適切なタイミングでの情報提供ができない可能性がある。これらの原因として、すべての座標が一定の値で変化しているからだと考えられる。そのため、元の危険領域の特徴を残しつつ、危険領域を囲うことができる図形の拡大方法を検討する必要がある。

二つの目の課題は検知精度のばらつきである。各実験での検知結果の誤差を見ると、その値にはばらつきが見られた。誤差にばらつきが生じると正確な検知を行うことができない。また利用者の行動を検知する距離が定まらないため、対応できる災害の種類や範囲を定めることが困難になる。このばらつき原因について検討する。表 1 はシミュレータと実機で同じ領域に対する出入り判定の結果が示されているが、実機での誤差の平均とシミュレータの平均は 1m 程度の違いで、大きな差がないことがわかった。そのため検知精度のばらつきは位置情報を取得した際の誤差ではなく、出入り判定のシステムの課題であると考えられる。そのため、より詳細な精度の検証と、判定システムの改善により、誤差のばらつきを抑える必要がある。

## 7. まとめ

本研究ではジオフェンシング技術を用いて利用者の行動に対応した災害情報提供の方法を提案し、それを実現するための実験を行った。実験結果より、危険領域から自動で生成した警告領域により危険領域への接近を検知できることを確認した。

今後はこの提案を実現するため、より有効的な警告領域の生成方法の検討、また利用者の行動検知の精度の検証と改善を行う。

## 参考文献

- [1] 中央防災会議「災害時の避難に関する専門調査会」第 6 回資料 災害時の避難に関する検討課題避難の考え方の明確化, 平成 24 年 1 月 31 日, 内閣府.
- [2] 最近の自然災害と防災・減災の取り組みについて, 平成 27 年 5 月, 国土交通省水管理・国土保全局防災課.
- [3] 水害ハザードマップ検討委員会第 1 回資料 ハザードマップと洪水時の避難に関する現状と課題, 平成 27 年 12 月 14 日, 国土交通省
- [4] 陶山聖, 井上潮: オープンデータとジオフェンシ

ングを用いた災害時避難支援アプリケーションの開発, DEIM Forum 2017, A6-5

- [5] 濱村朱里, 福島拓, 吉野孝, 江種伸之: 災害時支援システム”あかりマップ”の地域住民による防災マップ作成への適応, 第 97 回 GN・第 15 回 CDS・第 12 回 DCC 合同研究発表会, No.38, 2016
- [6] 渡邊博之, 成田祐一, 大山勝徳, 加瀬澤正, 武内惇, 竹中豊文: モバイル端末を活用した災害時最短避難経路提示システムの開発, 情報処理学会論文誌, vol.53, No.7, pp.1768-pp.1773, 2012
- [7] 天野貴文: オープンデータ・国土数値情報を活用したスマートフォン向け洪水ハザードマップアプリの開発, GIS—理論と応用, Vol.23, No.2, pp.1-6,
- [8] 【第 2 回】点の多角形に対する内外判定 | 【技業 LOG】技術者が紹介する NTTPC のテクノロジー, [https://www.nttpc.co.jp/technology/number\\_algorithm.html](https://www.nttpc.co.jp/technology/number_algorithm.html), 2013
- [9] 国土数値情報 浸水想定区域データの詳細, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31.html>