

災害発生時における動的な避難誘導システムの提案

野崎 浩平[‡], 福井 淑郎[‡], 柴田 正義[†],
田中 英光[†], 松田 侑子[†], 吉本 尚永[†], 塚田 晃司[†]
[†]和歌山大学システム工学部
[‡]和歌山大学大学院システム工学研究科

日本は、地理的、地質的、気候的な条件から自然災害が発生しやすい。そこで、携帯端末を用いた歩行者誘導システムを、災害時における住民の誘導に応用しようという研究がある。しかし、平常時とは異なり、災害発生時には複数の地点が通行できなくなる可能性がある。そのようなとき、適切な避難経路を再設定するためには、周辺の通行不可能な地点を把握することが必要である。本研究では、より迅速な情報収集を目指し、住民が携行する携帯端末を通じて、災害発生地点を目にした住民から直接の情報提供を受けるという手法を提案、この手法を用いた動的な避難誘導システムを提案した。

A Proposal for Dynamic Emergency Navigation System in a Time of Disaster

Kohei Nozaki[‡], Yoshiro Fukui[‡], Masayoshi Shibata[†],
Hidemitsu Tanaka[†], Yuko Matsuda[†], Naohisa Yoshimoto[†], Koji Tsukada[†]
[†]Faculty of Systems Engineering, Wakayama University
[‡]Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

Natural disaster happens frequently in Japan because of geographical, geologic and climatic conditions. Therefore there is study to apply the walker navigation system which uses a handheld unit to inhabitants navigation in a time of disaster. However, it has difference from usual times, many routes may not be gone through in a time of disaster. At the such situation, understand the places which cannot go through is necessary for re-setting appropriate evacuation route. This paper proposes another new method which is enabling faster information gathering. It is method of reporting disaster information through use of handheld unit of the inhabitant who found disaster directly. This paper is making proposal about emergency navigation system which is using such method.

1 はじめに

日本は、地震、台風などといった自然災害が多い。よって、これまでにも、防災へのさまざまな取り組みが行われてきた。その中でも災害発生時における避難誘導に着目すると、従来は、テレビやラジオによる緊急放送や、地方自治体の職員が拡声器を使って呼び掛けて回るなどの方法がとられてきた。しかし、災害時の犠牲者数を増加させている要因として、被災地の住民の逃げ遅れが指摘されている中、より良い誘導方法が必要とされている。

近年、携帯情報端末を用いて歩行者の誘導を行う

システムが注目されており、携帯電話各キャリアでも GPS 付き携帯電話を使ったサービスの導入が進んでいる [1, 2]。そこで、そのようなシステムを災害発生時の避難誘導に応用するための研究が行われている [3, 4]。

しかし、これらの既存のシステムには解決しなければならない課題が存在する。本研究の目的は、このような課題を解決し、よりよい避難誘導を実現する新たなシステムを提案することである。

2 既存の避難誘導システムの課題

既存のシステムが持つ問題点として、次のような項目が挙げられる。

1. **即時性が低い:** 災害時には、二次災害などによって道が塞がれる可能性がある。多数の地点で道が塞がれた場合、それらの通行不可能な地点を把握しなければ、迂回路を発見することが困難な場合がある。よって、災害時に適切な誘導を行うためには、通行不可能な地点の情報が重要であり、この情報を迅速に収集し、利用者に提供するシステムを備えていることが望ましい。
2. **屋内で使えない:** 先に述べた既存システムは、いずれも GPS に依存したものとなっている。GPS の使えない屋内でも、大きな地下街や建物内の場合、このような誘導システムが有効である。屋内での利用を可能とするためには GPS に依存しない位置特定の手法が必要である。
3. **災害時のシステム破損の可能性:** 災害時には、システムの破損が起こる可能性が高い。もし一部が破損しても、破損していない箇所だけでの運用が可能な分散型システムとする必要がある。
4. **インフラの信頼性:** 大規模災害の発生時など、非常時において、一般の携帯電話で用いられている無線のような公衆のインフラは、混雑や障害により信頼性が著しく低下する。災害時に安定して利用できるようなインフラを備える必要がある。

本研究で提案するシステムでは、先に述べたような問題点について、それぞれ次のような方法で解決を図っている。

1. **即時性の低さに対する解決策:** 災害を目にした地域住民が、避難誘導を行う側に直接、携帯端末を用いて情報提供を行う「利用者からの災害情報提供機能」を備えた。地域住民がこの機能を使って自発的に情報収集を行うことによって、即時性の高い避難誘導を行うことがねらいである。
2. **屋内で使えない点に対する解決策:** GPS を使わずに移動体の位置を特定する手法として、センサネットワークを用いる方法がある。本システムでは、街角の至るところに誘導のための情

報を持たせた無線情報機器（以下ポストと称する）を設置し、Bluetooth などの近距離用無線によって、住民の持つ携帯端末の有する固体識別情報を読み取るという手法を用いている。これによって GPS よりも精度は劣るものの、どの端末がどのポスト付近に存在しているのか、といった情報を得ることが可能になる。

3. **災害時のシステム破損に対する解決策:** 本システムにおいて携帯端末は、特定の中央サーバからではなく、街角に多数設置されるポスト群から必要な情報を受け取る。多数設置されたポスト群中のある固体が破損したとしても、他の破損していない固体は誘導指示などを行うことが可能である。このような分散型構成をとることで、災害時における耐障害性を高めた。
4. **インフラの信頼性について考慮:** 誘導ポスト間に独自の災害時専用ネットワークを構成することで信頼性を高めた。

本研究で提案するシステムに類似したシステムとして、白川ら [5] によって提案された無線情報端末による歩行者誘導システムがある。白川らの提案したシステムと本研究で提案するシステムの相違点として、災害時における利用を考慮した次のような特徴が挙げられる。

- **災害情報を反映した動的な避難経路作成:** 災害発生時には、災害によって複数の地点が通行できなくなる可能性がある。そのような危険な地点を通らずに済む避難経路を作成し、端末に提示することができる。
- **広域な地図を併用した避難誘導:** 平常時の利用者と比べ、災害時の利用者は不安な心理状態に陥りやすい。次にどちらに曲がる、といった単純な指示だけではなく、地図上に広域の避難経路と到達地点を同時に示すことで利用者が安心して誘導を受けられるようにしている。
- **端末の位置情報を蓄積する:** 住民が携行する携帯端末の位置を特定することで、住民の現在位置を把握することができる。これによって、警察や消防、自治体が住民の避難状況を知ることができる。

- **ポスト群によるネットワーク構築:** エリア内のポスト群で1つのネットワークを構築している。これにより、ポスト群の中のある固体が収集した災害情報をエリア内のポスト群すべてに拡散することができる。

3 提案システムの構成

3.1 概要

図1は、本システム全体の構成図である。ポストは街角に多数設置されており、利用者の持つ携帯端末は複数のポストを辿りながら目的地まで向かう。

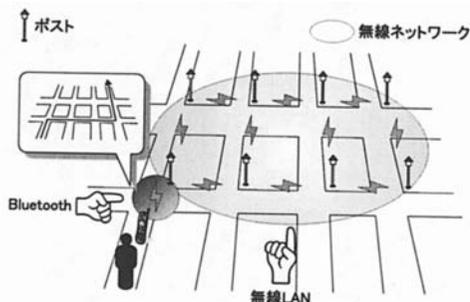


図1: システム全体の構成図

大きな楕円はエリア内のポスト間で構築されるネットワークの通信範囲を示しており、無線LANなどで構築されることを想定している。ポストは、このネットワークを用いて、他のポストと災害情報などをやりとりする。

小さな円は、ポスト⇄端末間の通信に用いられる近距離無線の通信範囲を示しており、Bluetoothなどで構成されることを想定している。この無線では携帯端末の固体識別情報、避難経路、災害情報などがやりとりされる。

3.2 システムモデル

図2は、本システムのモデルである。システムは、次の5つの機能モジュールで構成される。

- **位置特定モジュール:** 携帯端末の固体識別番号を受け取り、付近に存在する端末の情報を蓄積する。

- **経路作成モジュール:** 地図データと、蓄積されている災害情報をもとに、ポストの現在地から避難場所までの安全な避難経路を求める。
- **災害情報蓄積/拡散モジュール:** 付近の携帯端末から送信される災害情報を受け取り、蓄積し、エリア内の他のポストに拡散する。また、拡散されてきた災害情報を受け取り蓄積する。
- **画面描画モジュール:** ポストから受け取った避難経路データを解析し、端末の画面上に描画する。
- **災害情報作成モジュール:** 端末の利用者による操作をもとに、災害情報を作成し、ポストに送信する。

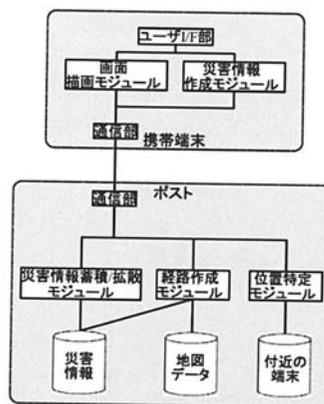


図2: システムモデル

3.3 システムの処理の流れ

このシステムの処理の流れには、次の2種類がある。

- **避難経路を受け取る/端末の固体識別情報を通知する:** ポスト⇄端末間の通信に用いられているBluetoothの通信圏内に端末が侵入すると、図3のような流れでポストから避難経路を受け取る。同時に、ポストは侵入してきた端末の固体識別情報を取得し、蓄積する。
- **災害情報を送信する:** ユーザーI/F部にて、利用者による災害情報作成が行われると、図4のような流れで端末からポストへ災害情報が送信される。災害情報蓄積/拡散モジュールは、災害情報の蓄積と他ポストへの拡散を行う。また、災

害情報を反映した経路作成が行われ、端末に新しい避難経路が送信される。

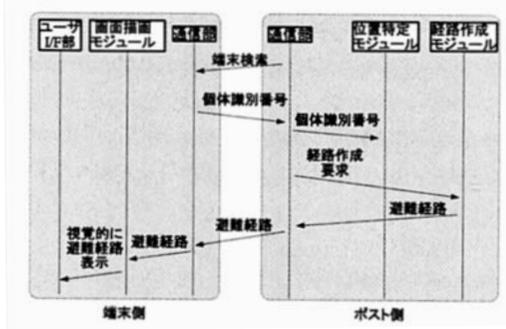


図 3: 避難経路受け取りの流れ

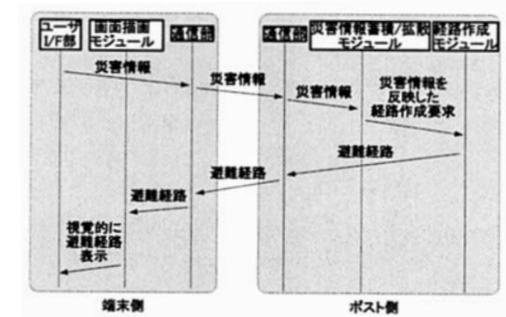


図 4: 災害情報送信の流れ

表 1: 試作システムの構成

近距離用無線	Bluetooth
ポスト間接続	無線 LAN
ポスト	ノート PC
携帯端末	ノート PC
OS	Linux (Fedora Core 5)
プログラミング言語	Java, C
地理データ	G-XML 2.0
経路探索アルゴリズム	Dijkstra 法
データベース	PostgreSQL

4 試作システム

4.1 実装環境

ここまで述べてきた機能を実現する試作システムを表 1 のような構成で開発した。現在、日本で市販されている携帯電話では、Bluetooth などをユーザが作成したアプリケーションから利用することができないため、今回は携帯端末をノート PC とした。

地図データに関しては、国土地理院より提供されている「数値地図 2500」を G-XML[6] 形式に変換、歩行者道などの追加を行ったものを用いた。

4.2 避難誘導

避難経路データは図 5 のような G-XML 文書で表される。携帯端末では図 6 のように、地図データの上に、この避難経路データを重ねて視覚的に表示することで避難誘導を行う。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<G-XML>
<Metadata>
<Metadata.gxml>
<Author>172.16.145.13</Author>
<At time="20061214T103644"/>
</Metadata.gxml>
</Metadata>
<Route id="pp011r001">
<RouteNode>
<POI id="pp011" category="ポスト">
<SpatialLocator>
<Coordinates unit.location="deg">
135.15272677483952,34.26705539662293</Coordinates>
</SpatialLocator>
</POI>
</RouteNode>
<RouteNode>
<Edge id="e014" startnode="n019" endnode="n011">
<Property propertytypename="length" datatype="real">
0.0015227450792511656</Property>
</Edge>
</RouteNode>
<RouteNode>
<POI id="pp019" category="ポスト">
<SpatialLocator>
<Coordinates unit.location="deg">
135.1512046153319,34.26709762232264</Coordinates>
</SpatialLocator>
</POI>
</RouteNode>
<RouteNode>
<Edge id="e013" startnode="n020" endnode="n019">
<Property propertytypename="length" datatype="real">
8.293692376695877E-4</Property>
</Edge>
</RouteNode>
<RouteNode>
<POI id="pp020" category="ポスト">
<SpatialLocator>
<Coordinates unit.location="deg">
135.15039261226548,34.26726645464338</Coordinates>
</SpatialLocator>
</POI>
</RouteNode>
</Route>
</G-XML>
```

図 5: 避難経路を表す G-XML 文書

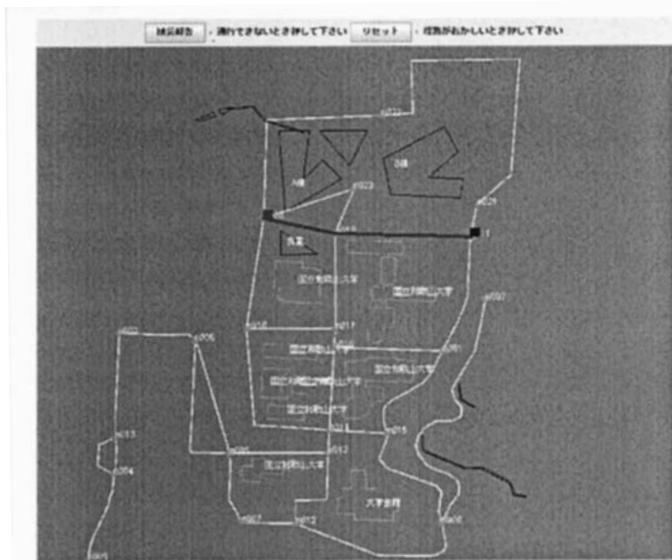


図 6: 誘導画面

4.3 避難経路作成

G-XML 形式の地図データには、道路ネットワークを構成する交差点 (Node) と、交差点間の接続関係 (Edge) が含まれており、これを用いてグラフを作成し、2 点間の最短経路を求めるアルゴリズムである Dijkstra 法を用いることで、避難経路作成を行っている。災害情報を保持している場合は、災害が報告されている地点をグラフより削除することで、迂回路の探索を実現している。また、地図データに道についてのパラメータを追加しており、これを用いることで災害時にも通行できる可能性の高い国道などの大通りを優先的に選択する。

4.4 災害情報作成

利用者からの災害情報提供機能は、図 7 のような流れで用いられる。この操作によって作成される災害情報は、災害によって通行が不可能になった地点を特定する図 8 のような G-XML 文書で表される。この例では、e013 という ID を持った道 (Edge) が通行できなくなっていることを表している。ポストがこの情報を受け取ると、この道は以後避難経路に含まれなくなり、端末地図上には、この道が通行不可能であることが示される。

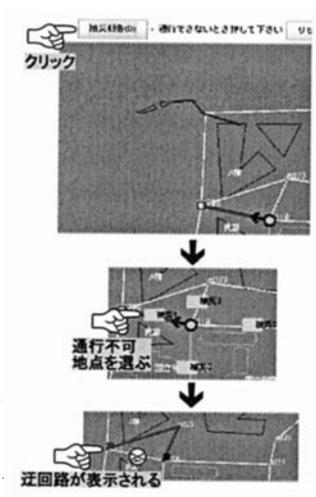


図 7: 災害情報報告画面

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<G-XML>
  <POI>
    <LocationRelationship youridreference="e013">
      <Side yourtype="Edge" myposition="on"/>
    </LocationRelationship>
  </POI>
  <SpatialLocator>
    <Coordinates>
      135.15079861379868, 34.26718203848301</Coordinates>
    </SpatialLocator>
  </POI>
</G-XML>
```

図 8: 通行不可地点を表す G-XML 文書

5 実験

5.1 実験条件

実装した試作システムを使い、表2のような条件で簡単な実験を行った。

表 2: 実験条件

場所	和歌山大学構内
ポスト台数	4台
端末台数	1台

5.2 実験結果

端末用プログラムを搭載したノートPCを持って誘導通りに進むと、地点ごとに新しい避難経路が受け取れること、災害情報を送信すると迂回路が表示され、送信した災害情報が全てのポストに行き渡っていること、ポストに端末の固体識別情報が残っていることが確認できた。

ただし、Bluetoothを用いたポスト⇄端末間の通信がスムーズに行えなかった。Bluetoothによる通信には接続操作、切断操作が必要だが、それらを自動的に行う処理において不具合が生じる場合があった。現状では、そのような操作に問題が生じた際は人手による再試行などの対処が必要である。

6 まとめ

本研究では、携帯端末を用いた動的な避難誘導システムを提案した。

本システムでは、従来の地方自治体から地域住民への単方向の情報提供のみによる避難誘導ではなく、地域住民からの情報提供を携帯端末によって収集するシステムを備え、収集した情報を誘導に反映する手法を取り入れることで、より即時性の高い避難誘導システムを提案した。

また、GPSを用いていないため、屋内からの誘導にも対応することができ、中央サーバを持たない分散型システムとしたため、一部が破損しても他の部分には影響なく動作を継続することを可能とした。

加えて、従来の避難誘導システムにおける問題点である、即時性が低いこと、GPSに依存しているために屋内での利用が不可能であること、耐障害性、非

常時におけるインフラの信頼性について考慮していないことなどについての解決策を提示した。

今後の課題としては、次のような点が挙げられる。

- ポスト⇄端末間の通信に生じた問題の解決
- 端末の位置分布と道の経路容量のバランスを考慮した、より適切な誘導
- 視覚的に端末の位置を把握できるインタフェースの開発

謝辞

本研究は、(財)関西エネルギー・リサイクル科学 研究振興財団の平成17年度助成事業（総合防災科学分野 若手奨励研究）、並びに、和歌山大学防災研究 教育プロジェクトの支援を受けている。

参考文献

- [1] iエリア, http://www.nttdocomo.co.jp/service/imode/menu_site/iarea/
- [2] EZナビウォーク, http://www.au.kddi.com/ezweb/service/ez_naviwalk/
- [3] 伊藤英明, 中西英之, 小泉智史, 石田亨: 超越型コミュニケーション: 大規模公共空間のための位置依存型誘導法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.2, pp.547-554, (2006)
- [4] 神成淳司, 吉田茂樹: 災害時における携帯端末を用いた効果的な避難誘導に関する考察, 第18回人工知能学会全国大会, 2G2-04, (2004)
- [5] 白川洋, 歌川由香, 福井良太郎, 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, 2002-GN-046, pp.71-76, (2003)
- [6] 日本工業規格 地理情報 地理空間データ交換用XML符号化法, JIS X 7199:2001, 財団法人データベース振興センター, (2001)