

平成 25 年度 東三河地域防災協議会受託研究 研究報告書

災害時避難における経路誘導システムの開発

平成 26 年 3 月

研究代表者 小 沢 慎 治

愛知工科大学工学部
情報メディア学科 教授

目次

第1章 研究背景と目的	4
1.1 研究背景	4
1.2 研究目的	4
1-3 研究内容	4
第2章 研究方法	6
第3章 システムの構成と概要	7
3-1 ハードウェア構成要素	7
3-2 ソフトウェア構成要素	9
3.3 携帯端末の画面イメージ	10
3.3.1 初期画面	10
3.3.2 避難者の応答	11
第4章 システムの詳細	13
4.1 道路データベースの作成	13
4.1.1 道路データベース作成手順	13
4.1.2 交点の緯度、経度	14
4.1.3 交点ファイル作成手順	15
4.1.4 交差点の検出	17
4.1.5 道路情報	18
4.2 避難所データベース	19
4.3 道路状況データベース	20
第5章 移動容易度算出アルゴリズム	22
5.1 道路固有の移動容易度の算出	22
5.2 避難者に依存する移動容易度	22
5.3 災害による移動容易度～一般からの通報による～	22
5.4 災害による移動容易度～計測値からの予測による～	22
第6章 最適経路決定アルゴリズムとプログラム	23
6.1 最適経路前方探索	23
6.2 最適経路後方探索	26
第7章 避難経路の携帯端末への表示手法の開発	27
第8章 実験結果	28
8.1 道路データベース	28
8.2 避難所データベース	28
8.3 道路状況データベース	28
8.4 避難経路探索要求への応答	29
8.4.1 ☆case1	30

8.4.2 ☆case2	.....	31
8.4.3 ☆case3	.....	32
8.4.4 ☆case4	.....	33
第9章 考察	.....	34
9.1 実行環境	.....	34
9.2 本システムの効果	.....	34
9.2.1 避難所設定時に得られるもの	.....	34
9.2.2 道路状況受信時に得られるもの	.....	35
9.3 実用化に向けて	.....	35

第1章 研究背景と目的

1-1 研究背景

地震、大雨、津波など災害時には、住民はあらかじめ指定された避難所へ移動する。しかし、避難所への経路について不慣れなことも多い。さらに、災害時には経路上の道路の通行が不可能かまたは困難になることが想定されるが、避難する住民はそれを予測することができない。

一方、IT技術の進展により、避難しようとする住民(以下災害避難者と呼ぶ)は携帯電話、スマートフォンなど携帯機器を常に所持していることが期待され、インターネットは災害時においても利用可能であることが期待される。

したがって、住民が携帯電話等の機器を用いて要求することにより、適切な避難所およびそこまでの安全な経路を提示する経路誘導システムは、災害避難者や帰宅困難者に有用と考えられる。

1-2 研究目的

住民が携帯電話、スマートフォンなどの、端末からシステムに問い合わせることにより移動容易度を加味した避難所までの最適経路誘導システムを開発することを目的とする。

ただし本研究では、

- ・基本的な機能を持つクライアントサーバーシステムのプロトタイプを作成する。
- ・プロトタイプシステムを試用することにより、実運用に向けて必要な事項を考察する。

ことまでを目的とする。

1-3 研究内容

本研究で作成するシステムにおける情報収集・処理・提示には災害の発生する以前に行うものと、災害発生期間に行うものがあり以下のように整理できる。

表1 調査・研究の内容

	事前	災害時
情報収集	① 避難所の位置の決定	⑥ 携帯電話による問合せ者の位置情報 ⑦ 携帯電話等による道路状況の通知
情報処理	② 道路データベースの作成 ③ 道路ごとの平常時移動容易度を算出 ④ 経路誘導システムの作成	⑧ ⑦に対応して道路ごとの避難容易度を更新 ⑨ ⑥に対応して最適経路探索
情報提示	⑤ 本システムの周知	⑩ 避難経路を携帯端末へ表示

① 避難所の位置

データベース上に位置情報 $(X, Y, Z)_m$ $m = 1 \rightarrow M$ として与える。これは常に更新可能とする。災害発生時にも変更可能とする。

② 道路データベース

交差点を頂点として道路を枝とするグラフ構造とする。

交差点の属性は位置と標高、道路の属性は、両端の交差点番号、道路長さ、道路幅員および標高差とする。これらの属性に基づいて道路ごとに平常時移動容易度を算出する方法を検討する。

④ 最適経路探索 ダイキストラのアルゴリズムに基づいて、本システムに適応するプログラムを新たに作成する。システム作成時には⑥、⑦の機能をキー入力などで代用する。また、避難容易度の算出法も実装する。

⑤ 本システムの周知

災害時に本システムが稼働することを住民に周知する。

⑥ 携帯等による問合せ者の位置情報

問い合わせ時に携帯電話等の GPS 機能によりサーバーマシンに、時刻 t_k と位置情報 $(X, Y, Z)_k$ が得られるとする。

⑦ 同じ端末を用いて道路の儒教をシステムに知らせることができるものとする。

⑧ 上記⑦で得られた情報から道路ごとの避難容易度を算出を検討し実装する。

⑨ ④を用いて最適避難経路を算出する。

⑩ 最適避難経路を携帯端末へ表示する。

第2章 研究方法

本研究は研究目的を達成するためのシステムを作成することが目的であるが、まず基本的な機能を持つクライアントサーバーシステムのプロトタイプを作成することと、実運用に向けて必要な事項を確定することとする

- ・対象となる避難所および要求者の存在範囲は豊橋市、豊川市、蒲郡市、新城市、田原町、設楽町、東栄町、曾根村とする。

- ・避難者は緊急車両、通常車両、歩行者、歩行困難者などに分類する必要がある、分類によって移動容易度が異なるはずである。開発するプロトタイプシステムでは歩行者のみを対象として、移動容易度は0, 0.5, 1.0の3段階とする。

研究の進め方は以下の通りである。

- ・研究目的に合わせたハードウェア・ソフトウェア構成を定める。 第3章

- ① 対象領域の道路データベースの作成する。 第4章

道路データベースには道路ごとに、両端の交差点の位置と通過容易度および、避難所の位置情報を含む。

- ② 携帯等による問合せ者の位置情報の獲得手法の開発。 第4章

- ③ 災害等による通過容易度の変化情報の獲得手法の開発。 第5章

- ④ ②、③に基づく最適経路の獲得手法の開発。 第6章

- ⑤ 避難経路の携帯端末への表示手法の開発。 第7章

- ⑥ 研究成果の実装と実験。 第8章

- ・実験結果の考察を行う。 第9章

第3章 システムの構成と概要

3-1 ハードウェア構成要素

本システムを構成するために必要なハードウェア等は以下の通りである。

図1は本研究の成果であるプロトタイプシステムの構成である

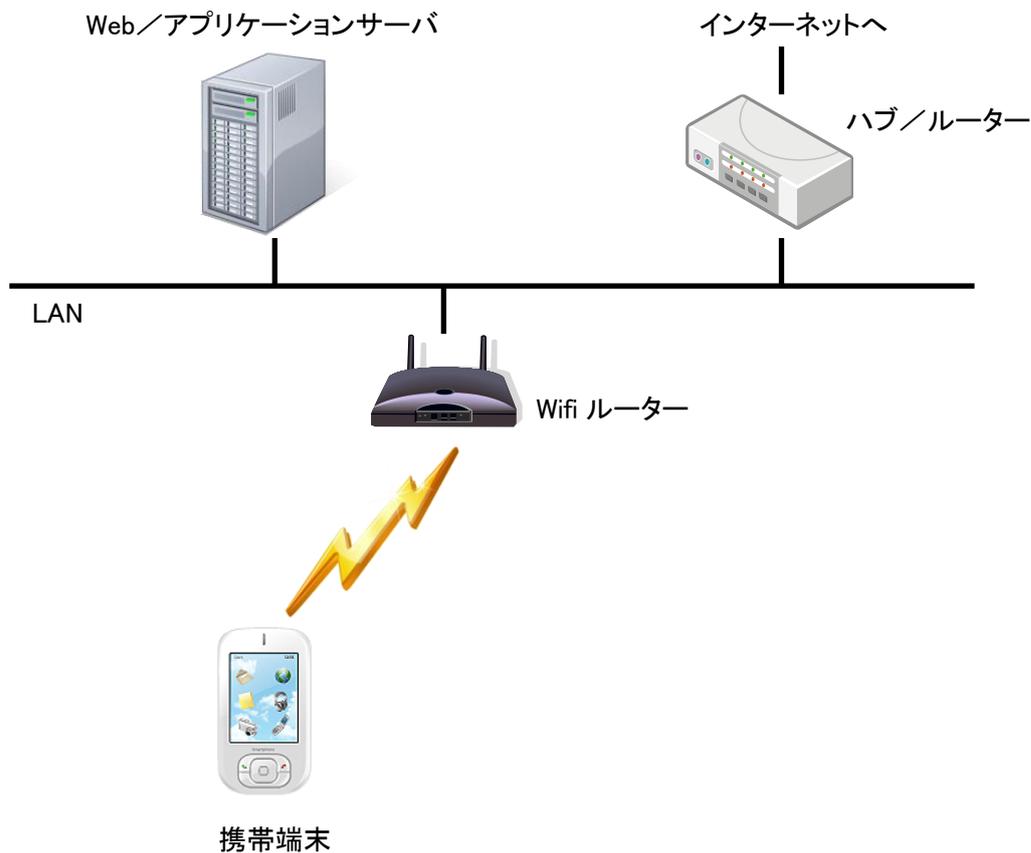


図1 プロトタイプシステムのハードウェア構成

携帯端末に避難所までの経路を Google Map を利用して表示するため、インターネットに接続が必要である。

表2 ハードウェア構成

機器	説明
Web/アプリケーションサーバ	・Web サーバ 携帯端末に対して、経路探索用ページを表示する ・アプリケーションサーバ 経路探索処理を行う
Wifi ルーター	携帯端末との無線接続を行う 実環境では、公衆無線回線(3G、LTE、Wifi)の利用を想

	定している
携帯端末	利用者が経路探索を行うための端末 GPS 機能付きの携帯端末を想定している
ハブ/ルーター	インターネットへの接続のための機器

実用化システムにおいてはサーバーはセンター機能を持つ場所におかれインターネットに接続
携帯端末は DOCOMO、AUI 等の端末にすることが必要である

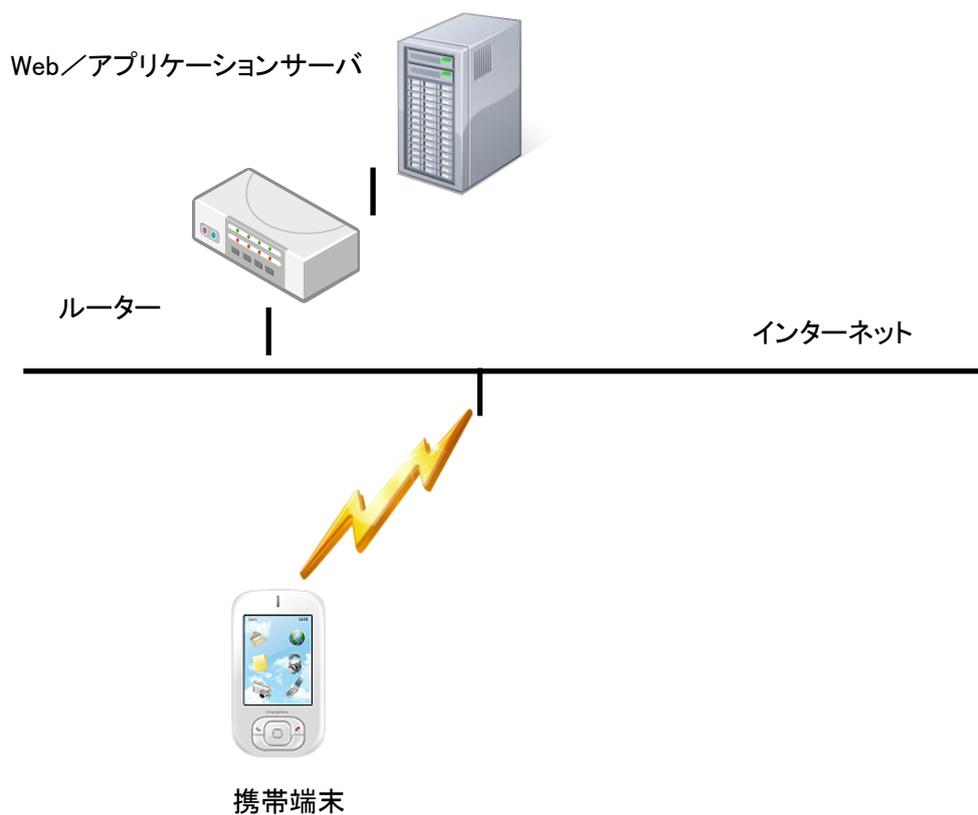


図 2 実用システムのハードウェア構成(想定)

3-2 ソフトウェア構成要素

ソフトウェア構成は図3の通りである。

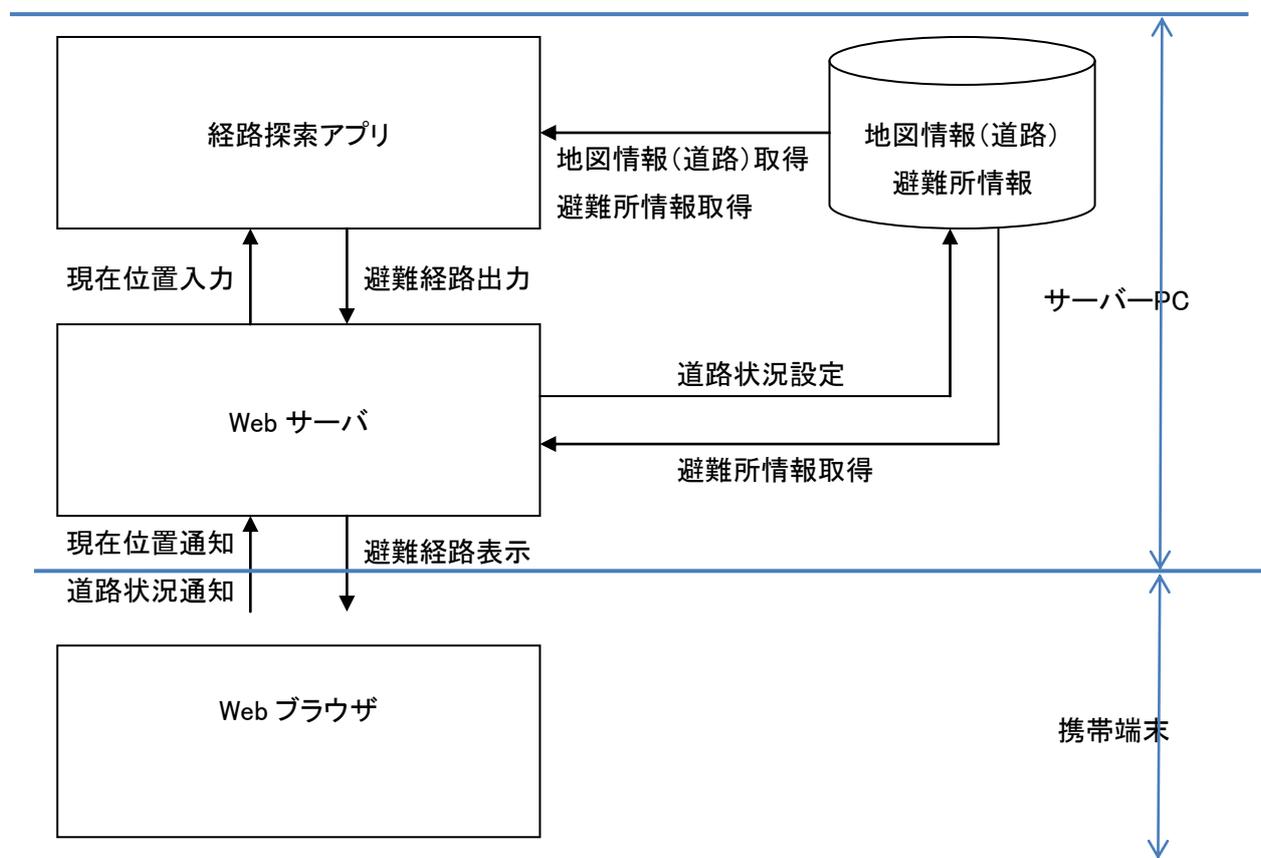


図 3 ソフトウェア構成

表 3 ソフトウェア構成

ソフトウェア	説明
経路探索アプリ	利用者の現在位置から、避難所までの経路を探索する
Web サーバ	携帯端末に経路探索ページを表示すると共に、携帯端末から送られてくる現在位置や道路状況を取得し、それぞれ、経路探索アプリに渡したり、地図情報を更新したりする また、経路探索アプリから出力される避難経路を地図上に表示し、携帯端末に送る（現在位置や避難所位置も表示）
Web ブラウザ	携帯端末にインストールされている Web ブラウザ 特に種類の指定は無い
地図情報（道路）	道路に関する情報や避難所に関する情報

避難所情報	今回はテキストファイル形式で保存されるが、将来的にはデータベースの利用が考えられる
-------	---

本システムを構成するために必要なデータおよびプログラムは以下の通りである。

1. 道路データベース

交差点の情報として (緯度、経度、高さ)

道路の情報の固定部として (両端の交差点番号、長さ、高度差)

可変部として (移動容易度)

2. 避難所データベース (緯度、経度、高さ)

3. 移動容易度算出アルゴリズムとプログラム

4. 最適経路決定アルゴリズムとプログラム

3.3 携帯端末の画面イメージ

3.3.1 初期画面

アプリを起動すると図4のような初期画面が表示される。画面最下部のボックスには携帯端末の持つGPS機能により獲得した避難者のいる位置が緯度、経度で表示される。

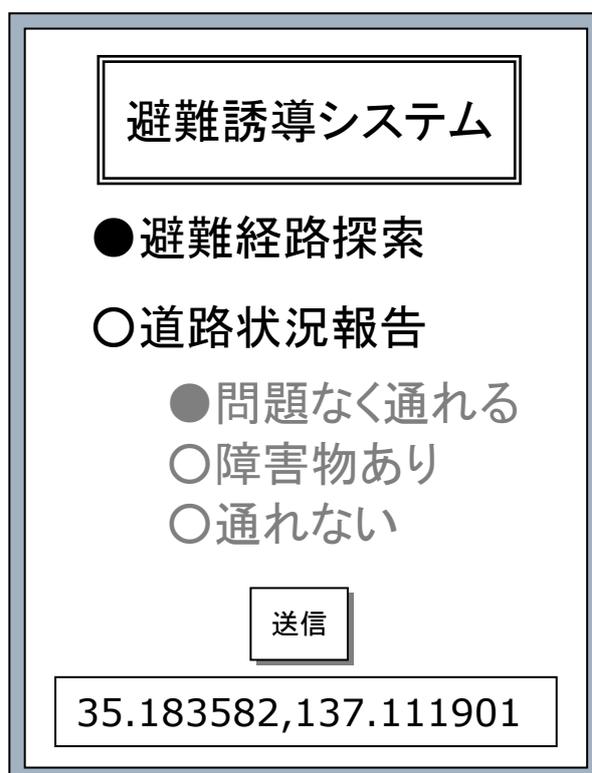


図4 初期画面

3.3.2 避難者の応答

避難者は図4の初期画面を見て以下の応答をする

- ・デモの場合には、デモ会場の緯度・経路が表示されているので、緯度・経路の変更を行う。
- ・「避難経路探索」か「道路状況報告」か、を選択する。
- ・道路状況探索の場合は、利用者がいる道路の状況を選択する
※選択できる道路状況は3段階とする
 - 1)問題なく通れる
 - 2)障害物あり（通行に時間がかかる）
 - 3)通れない（通行できない）選択後、「送信」ボタンを押す
- ・「避難経路探索」を選択した場合は、避難経路表示画面に移行する

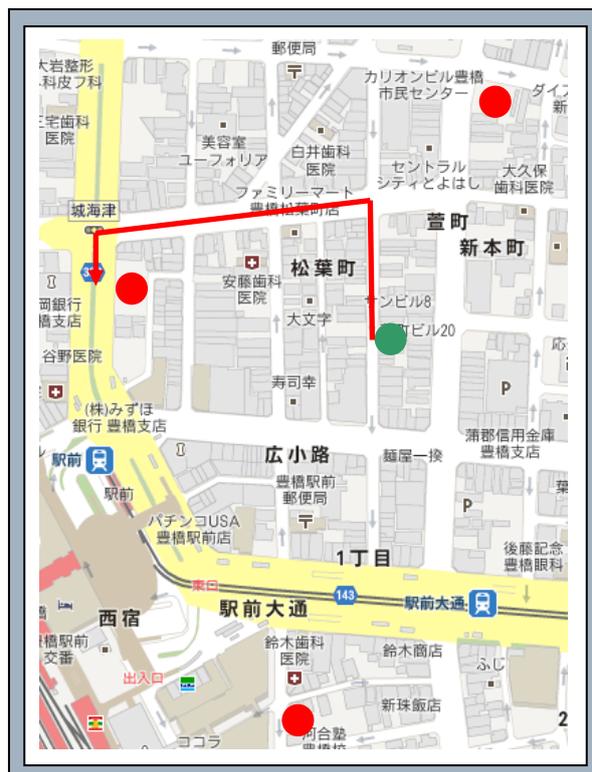


図5 避難経路表示画面

- 図 5 に示すように Google Map 上に「現在位置」が緑色の○印で、「避難所位置」が赤色の○印で、「避難経路」が赤色の線で表示される

第4章 システムの詳細

4.1 道路データベースの作成

この章では以下を作成する。

交差点の情報として（緯度、経度、高さ）

道路の情報の固定部として（両端の交差点番号、長さ、高度差）

可変部として（移動容易度）

2. 避難所データベース（緯度、経度、高さ）

3. 道路状況データベース

4.1.1 道路データベース作成手順

図3に示したプロトタイプシステムを稼働するために開発用汎用PCで図6に示すような構成で道路データベースを作成する。図6中の青色表示は初期化にかかわるもので、地図の拡張等の変更、避難所の決定・変更時等に実行する必要がある。

道路データベースの属性の内、緯度・経度は初期処理として行う。

システム稼働時には道路状況が変化する。それとともにデータベース更新され、最適経路探索が行われる

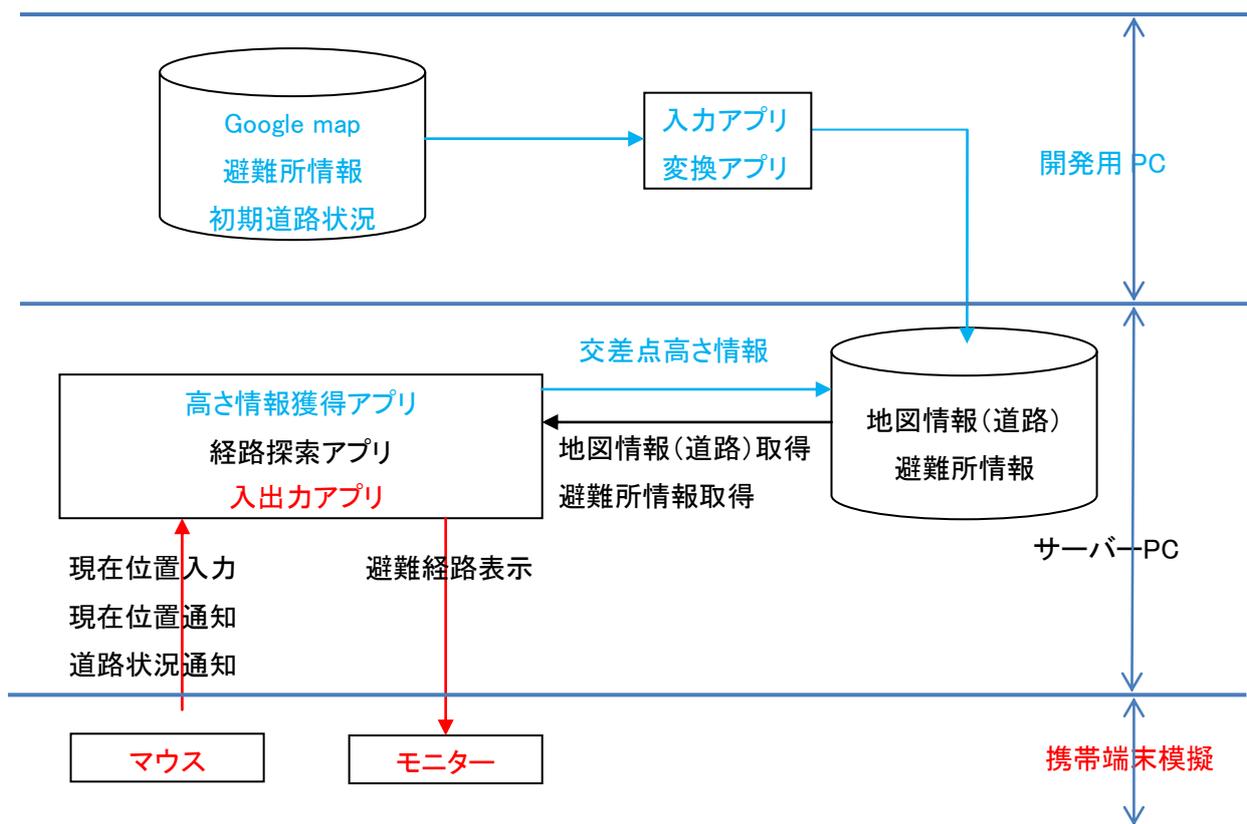


図 6 初期処理及び開発用システム

4.1.2 交点の緯度、経度

プロトタイプの場合は google map を用いて道路ごとに以下のような手作業で作成する

この段階で作成されるのは図 11 に示す通りで、**交点ファイル**とする。

すなわち、フォーマットは図 7 に示す通りであり、
 第 1 行 道路名 道路名は文字列で、通称で良い。
 第 2 行以降 最初の交差点から最後の交差点までに通過する交差点の道路内の順序番号と緯度・経度である。

最終行は 0,,

道路名は途中で変わったり、枝分かれしたりするがここでの道路名は経路名である。したがってそのような交差点のある道路の終点かつ次の道路の始点と扱うこととする。

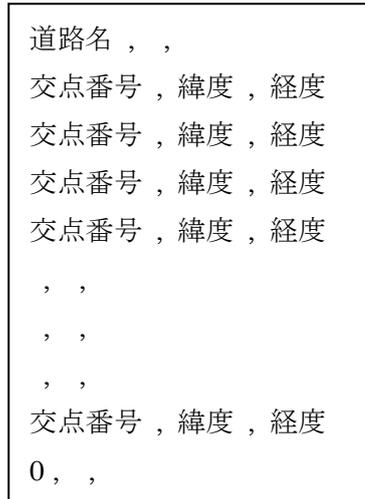


図 7 交点ファイル

まず最初に作成するのは次のファイルである。

4.1.3 交点ファイル作成手順



図8 googlemap の画面—交点のクリック

1. Google map を起動する。
2. csv ファイルを開き、最初の行に道路名,, を入力する
3. 対象道路の始点を最初の交点とする。
4. 交点をクリックする。図8の矢印A
5. 右クリック⇒
6. 図9のこの場所について 左クリック⇒
7. 図10のように表示された緯度、経度を csv ファイルへコピー
8. 終了したら9.へ、そうでなければ次の交点に進み4.へ戻る
9. 道路終了行として0,,を入力してこの道路について終了。
10. 全部の道路を終了したら11.へ、次の道路があれば次の道路を選び
- 2.へ戻る
11. 道路終了行として-, ,を入力して終了。

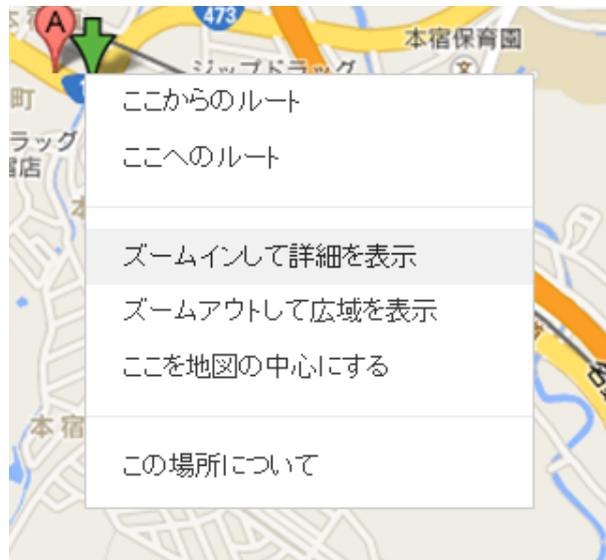


図9 googlemap の画面—pulldown メニュー



図10 googlemap の画面—緯度経度の表示

伊那街道, ,
1,34.783919,137.333908
2,34.785188,137.343178
3,34.796748,137.367382
4,34.805629,137.382832
5,34.8193,137.404118
6,34.834518,137.408924
7,34.847621,137.418194
8,34.858186,137.425919
0,,
東海道, ,
1,34.867623,137.294941
2,34.856003,137.308073
3,34.857834,137.310305
4,34.840506,137.324553
5,34.832616,137.329702
6,34.827825,137.33717

11,34.807813,137.356482
12,34.802034,137.361717
13,34.796255,137.367811
14,34.776588,137.387123
15,34.767775,137.390299
16,34.766858,137.395277
17,34.76573,137.399569
18,34.764955,137.401457
19,34.760301,137.406521
20,34.756352,137.409525
21,34.747043,137.414074
22,34.739779,137.421198
23,34.737098,137.424202
24,34.730186,137.424889
0,,
-,,

図 1 1 交点ファイルの例

4.1.4 交差点の検出

4.1.2で作成したデータベースは道路に沿ったデータであるから、同じ交点を複数の道路が通る。すなわち交差点は複数の道路に共通な交点であるからそのような交点を統合して交差点番号に変換する。これはメソッドが作成する。またフォーマットは

第1行が交差点数、

第2行以降は交差点番号、経度、緯度、高さ、交差点番号である。

この段階では高さ情報は0になっている。

高さ情報取得ツールは国土地理院のデータを用いているため、図13に示すプロトタイプシステムで実行する。

```
v,x[v],y[v],H[v],vorg[v]
60
1, 137.298889, 34.811830,0,1
2, 137.306786, 34.809011,0,2
3, 137.332878, 34.785611,0,3
4, 137.343178, 34.740484,0,4
5, 137.354507, 34.727505,0,5
6, 137.353821, 34.707751,0,6
7, 137.417336, 34.695897,0,7
8, 137.460251, 34.693921,0,8
9, 137.339058, 34.826487,0,10
10, 137.348328, 34.833250,0,11
11, 137.362576, 34.841563,0,12
12, 137.370300, 34.853397,0,13
13, 137.379227, 34.858186,0,14
14, 137.406349, 34.866637,0,15
```

図12 交差点ファイル db_vertex.csv の例

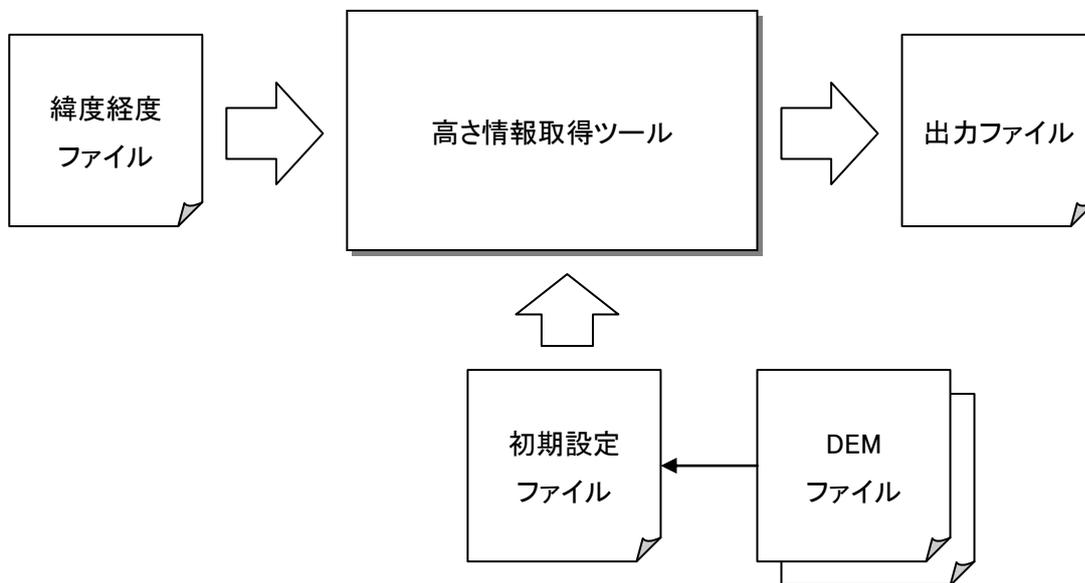


図13 高さ情報取得ツール

4.1.5 道路情報

4.1.2 で作成したデータベースは道路に沿ったデータであるから、隣り合う交点の間が道路片である。

これはメソッドが作成する。またフォーマットは

第1行が道路数、

第2行以降は道路片番号、始点の交差点番号、終点の交差点番号、道路片状況、道路片の長さ、道路番号、道路内交差点番号。

この段階では道路片情報は1.0になっている。

また長さは10000*緯度が単位であり、当該領域内では10cm単位の距離と見做すことができる。

なお正確には以下のように変換できる。

地球の直径は、赤道周囲 $R_x = 40076.5\text{km}$ 、子午線周囲 $R_y = 40008.6\text{km}$

であるから、豊橋市のおよその緯度である $\theta = 34.83^\circ$ で考えると、 0.000001° (google map の有効数字)あたりの距離は

$$\Delta x = R_x \cos \theta \frac{1}{360 \times 1000000} = 0.09\text{m}$$

$$\Delta y = R_y \frac{1}{360 \times 1000000} = 0.11\text{m}$$

となる。

歩行弱者については、車いすの自力登坂の限界が8.5%であること、自力降坂の限界が9.0%であるとされている。

バリアフリー新法（高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律）では、室内で

- ・スロープの中は120cm以上
- ・スロープの勾配は1/12以下として1/15以下が望ましい

神戸市バリアフリー道路整備マニュアルでは、歩道縦断勾配について、

- ・歩道等の縦断勾配は、5%以下とする。
- ・ただし、地形の状況その他特別の理由によりやむを得ない場合においては、8%以下とすることができる。

・車いす使用者の自走が困難な縦断勾配（5%以上の長い坂道、8%以上の急な坂道等）を有する路線においては、案内標識等を設置する。

本研究では災害難者は健常人としているが、携帯端末にボタンを追加することにより、上記を反映した移動容易度算出することも可能である。

```
65
e,vp[e],vt[e],state[e],dis[e],ave,eorg
1,1,2,1,8385,1,1
2,2,3,1,35048,1,2
3,3,4,1,46288,1,3
4,4,5,1,17228,1,4
5,5,6,1,19766,1,5
6,6,7,1,64612,1,6
7,7,8,1,42960,1,7
8,2,9,1,36700,2,8
9,9,10,1,11475,2,9
10,10,11,1,16496,2,10
11,11,12,1,14132,2,11
12,12,13,1,10130,2,12
```

図14 道路ファイル db_edge.csv の例

4.2 避難所データベース

このファイルは行政からの指示で作成すべきものである。プロトタイプでは交差点の中から無作為に選択しており、マニュアルで csv ファイルを作成している。図 15 が一例である。またフォーマットは

第 1 行 避難所数、

第 2 行以降 避難所番号、交差点番号

になっている。

5,
1, 4
2, 7
3, 16
4, 33
5, 45

図 15 避難所データファイル heaven.csv の例

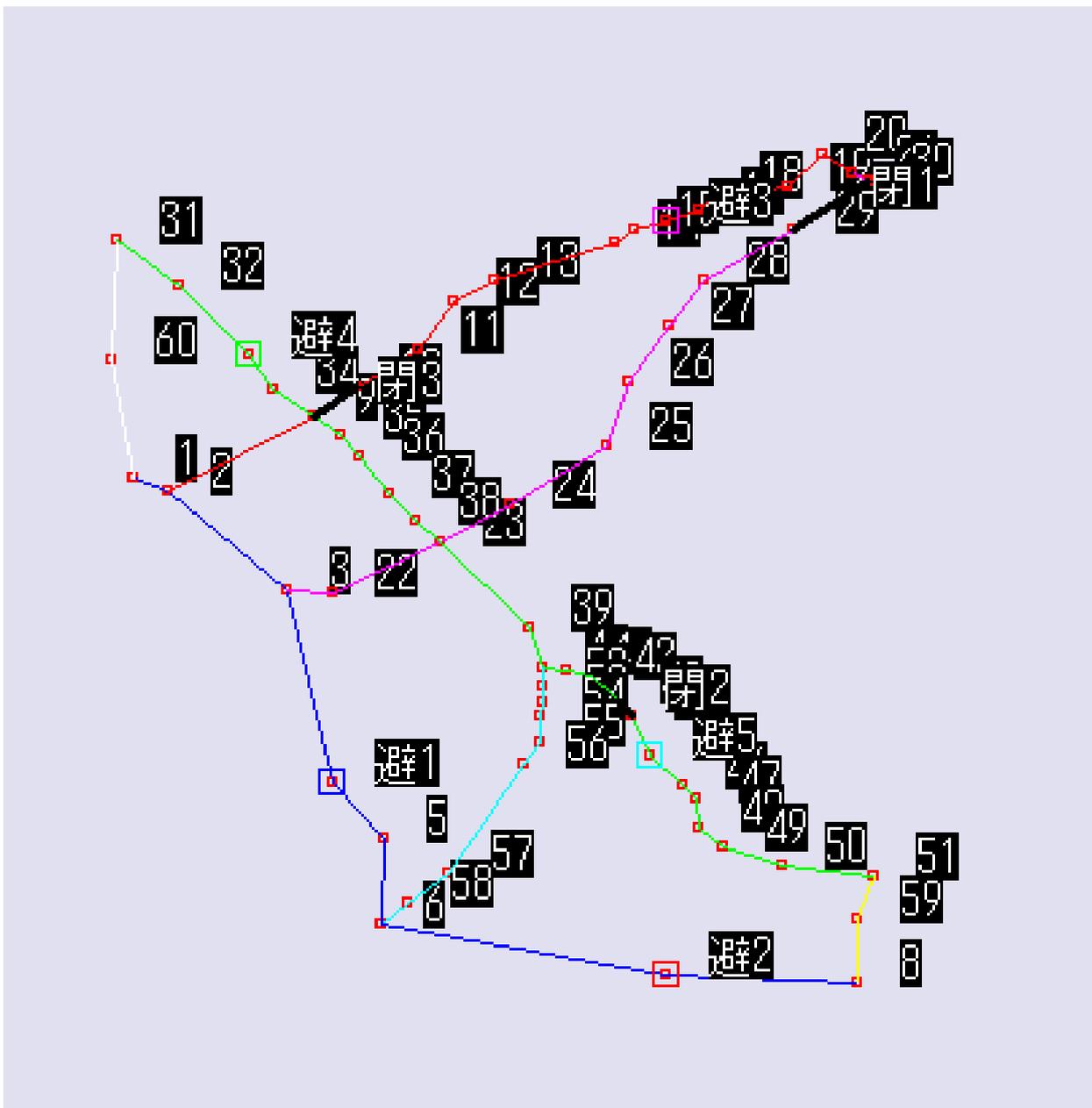


図 16 交差点番号の例

これまで例として図 12,14,15 に示した、交差点ファイル db_vertex.csv、道路ファイル db_edge.csv、避難所データファイル heaven.csv から得られた道路網を図 16 に示す。

避難所が交差点で近似できる場合もあるが、そうでない場合が普通であるから、避難所を始点として直近の道路を終点する短い道路を生成して避難所にも交差点番号を与えるものとする。

4.3 道路状況データベース

プロトタイプシステムでは携帯端末から道路状況情報を得ることになるが、開発システムでは

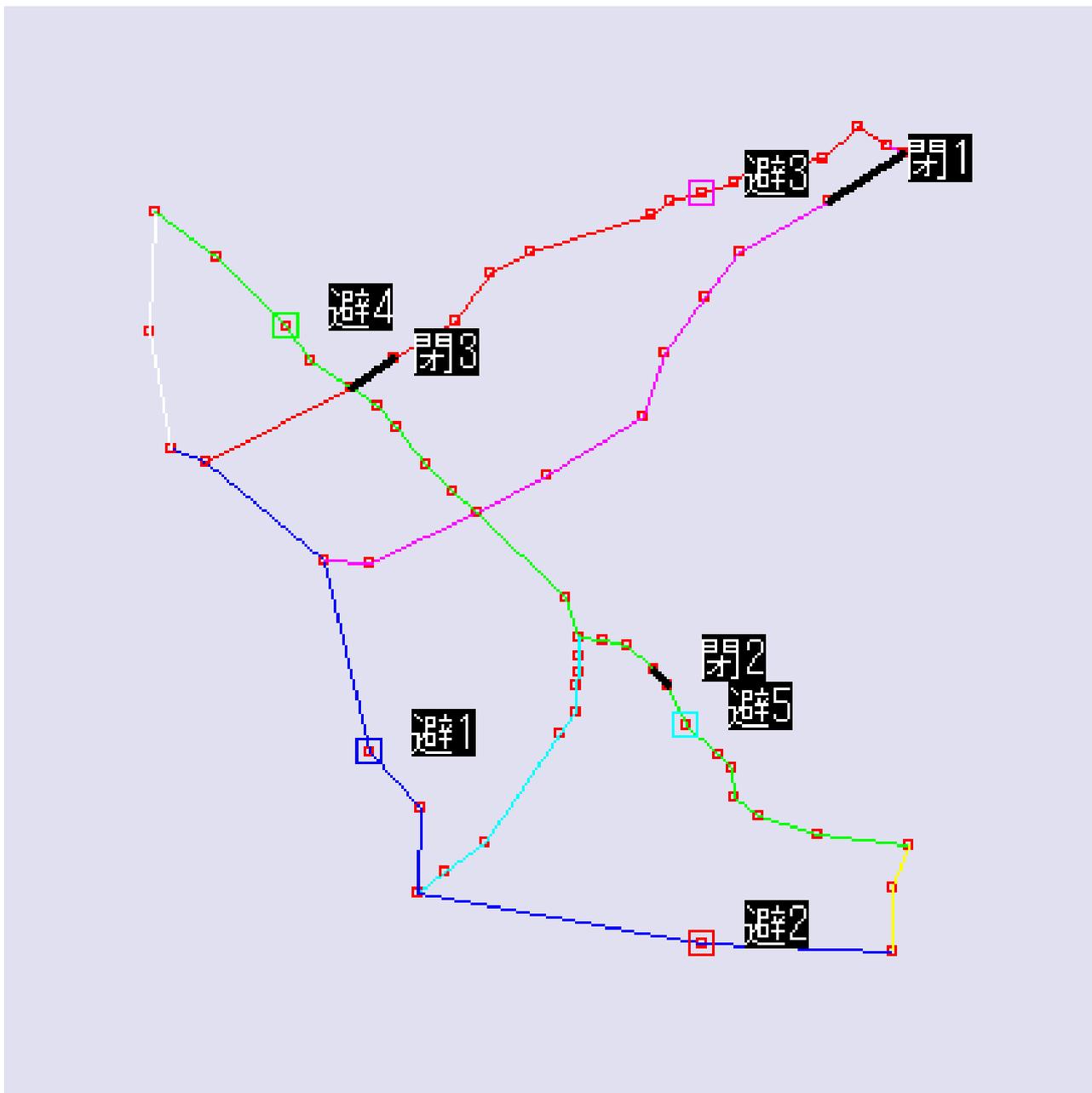


図 17 道路データベースの表示例

道路状況データベースで代用する。またフォーマットは
第1行 通過困難な道路数、
第2行以降 通過困難な道路番号、道路番号
になっている。

3
1, 29
2, 46
3, 9

図 18 道路状況データファイル close.csv の例

これまで例として図 16 に図 18 に示す道路状況ファイル close.csv を加えて得られた道路網を図 17 に示す。

第5章 移動容易度算出アルゴリズム

5.1 道路固有の移動容易度の算出

移動容易度は0.0～1.0の値とする。平常時は1.0、通過不可能の時0.0として、困難の程度をその中間の値とする

道路片には長さ $l(e)$ と高度差 $d(h)$ が与えられている。 d は方向に依存する

5.2 避難者に依存する移動容易度

避難者は緊急車両、通常車両、歩行者、歩行困難者などに分類する必要があり、分類によって移動容易度が異なるはずである。

開発するプロトタイプシステムでは健常歩行者のみを対象とする。

5.3 災害による移動容易度～一般からの通報による～

災害による経路の障害を移動容易度で記述する方法を見出す。

道路上の落下物、道路の陥没、火炎・浸水による通過困難さを、0.0, 0.5, 1.0 の3段階とする。

0.5は無理すれば通れるであり、他に合わり距離が大きくない経路があればそちらを通る方が良いというケースである。これは本システムにより避難者に限らず携帯端末を持つ人つい位置可能となる。

このためには平常時にこのシステムを周知して、実用時には進んで通知するように啓蒙する必要がある。

5.4 災害による移動容易度～計測値からの予測による～

津波・豪雨など水害の場合には、道路の標高情報と津波の程度・降雨量から道路ごとに、水面上昇の予測が可能と考えられる。したがって予測値に従って本システムの道路ごとの移動容易度を行使する。

第6章 最適経路決定アルゴリズムとプログラム

本研究においては、交差点を頂点集合 $V\{v_i\}$ 、道路を枝集合 $E\{e_j\}$ 、交差点(頂点) v_i から隣接する交差点(頂点) v_j の移動に要する最小コストを $d\{d_i, d_j\}$ としてコストの総和が最小となる経路を最適経路と定義した。ただし v_i から v_j への道路(枝)を e_j として、 $d\{e_j\}$ は枝の長さ $L\{l_i\}$ と移動容易度 $M\{m_i\}$ から算出するものとする。最適経路決定アルゴリズムとプログラムはダイキストラのアルゴリズムに基づいて新たに作成した。

図 19 は $V\{v_i\} = V\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ 、 $E\{e_i\} = E\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$ の場合を示している。

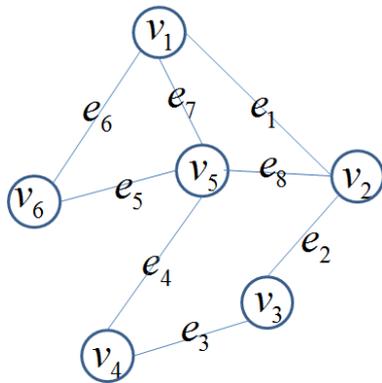


図 19 道路網

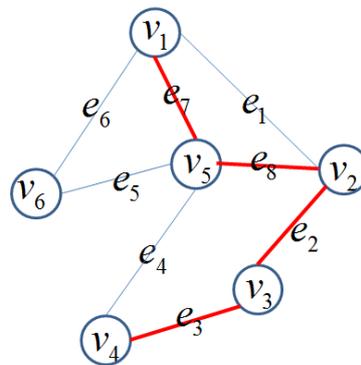


図 20 最適経路

6.1. 最適経路前方探索

最適経路探索を始点 v_s から終点 v_t までの最短距離 $D(v_s, v_t)$ を求めることと定式化する。図 20 中の赤色の線は $v_s = v_1, v_t = v_4$ の場合には、

$$D\{v_1, v_4\} = d(v_1, v_5) + d(v_5, v_2) + d(v_2, v_3) + d(v_3, v_4) \text{ であることを示している。}$$

また処理途中での始点 v_0 から各交叉点 v_i までのテンポラリーの最短距離を $D\{d_i\}$ とする。

頂点 v_k から通行可能な頂点集合を $T\{t_w = v_{i(w)}\}$

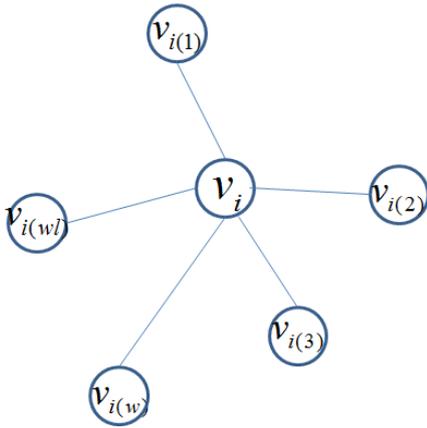


図 21 隣接交差点

交差点 v_k から通行可能な各交叉点 $T\{t_w\}$ の中に未探索の交差点がある場合に一時的に記憶する領域を

$$U\{v_u, d_u\}$$

としている。

6.1.1 始点 v_s と終点 v_t を指定する。

本研究では始点は避難者の位置、終点は各避難所である。いずれもプロトタイプでは交差点で指定する。

6.1.2 $v_0 = v_s$ 、 $k = 0$ とする

//1.

$u = 0$ $v_u = 0$ $d_u = 0$ とする。昇順保留領域をクリアする。 **push_heap(0, 0);**

//2.

$$d_i = \begin{cases} 0 & i = s \\ \infty & i \neq s \end{cases} \text{ とする。}$$

始点までの距離を0、その他の交差点までの距離を未探索とする。

6.1.3. $u++$ $v_u = v_s$ $d_u = d_s$ する。保留領域の先頭に v_s, d_s を記憶する。 **push_heap(vs, sdist[vs]);**

$$j' = \arg \min(l_j)$$

while(1) {

$U\{v_u, d_u\}$ の中から $u' = \arg \min(d_u)$ を求め、

$v_k = v_0$ として、

v_0, d_0 と $v_{u'}, d_{u'}$ を入れ替え、 $u--$ とする。 **v=pop_heap()** ;

//T(v)

$v_i = v_k$ における $T\{t_w\}$ を求める。

v_i と t_w の間の道路 e_j と l_j を求める

d_w を以下のように更新する。

$$d_w = \begin{cases} d_i + l_j \text{ and save} & d_w = \infty \\ d_i + l_j & d_w > d_i + l_j \\ d_w & \text{else} \end{cases}$$

1行目は v_w が未探索の交差点の場合である。このとき経路 $v_i \rightarrow e_j \rightarrow v_w$ が探索の先端となるので保留領域に記憶する。

2、3行目は v_w が他の経路で探索されている交差点の場合である。既に登録されている d_w より

$v_i \rightarrow e_j \rightarrow v_w$ の経路の方が小さければ置き換える。

// 7

6.1.4 完了チェック

if(v==vt) break;

6.1.5 クレストチェック

$T\{t_w\}$ すべてで d_w が更新されないときは v_i は隣接する交差点の **crest** と見做して

$j' = \arg \min(l_j)$ と対応する交差点 $v_{w'}$ を求めて

$$d_i = d_{w'} + l_{j'}$$

とする。

}

6.2 v_t から v_s まで **back truck** により最短経路を求める。

☆1 $k=0$ $v_k = v_t$ $g_k = v_k$

☆2 以下を $g_k \neq v_s$ の間繰り返す。

☆6.3.1 v_k における $T\{t_w\}$ を求める。

☆6.3.2 v_k と t_w の間の道路 e_j と l_j を求める

☆2.3 $T\{t_w\}$ から $d_{w'} = d_w + l_j$ のような w' を求め、 $w = \arg \min(d_{w'})$ とする。

☆2.4 $k++$ $g_k = t_w$ とする。

☆3 $\{g_k\}$ の順序を反転する。

第7章 避難経路の携帯端末への表示手法の開発



図 22 要求画面と表示画面

初期画面の下方の入力ボックスは開発段階及びデモンストレーションのために所望の位置の緯度経度を入力するために設けたものである。

第8章 実験結果

8.1 道路データベース

図14のように設定した。図23では交差点番号の内、分岐がある交差点には交差点番号が緑色の文字で記入されている。

8.2 避難所データベース

図15のように設定した。図23では避難所の交差点番号が赤色の文字で記入されている。

8.3 道路状況データベース

図16のように設定した。図23では通れない道路辺が黒色の太線で記入されている。

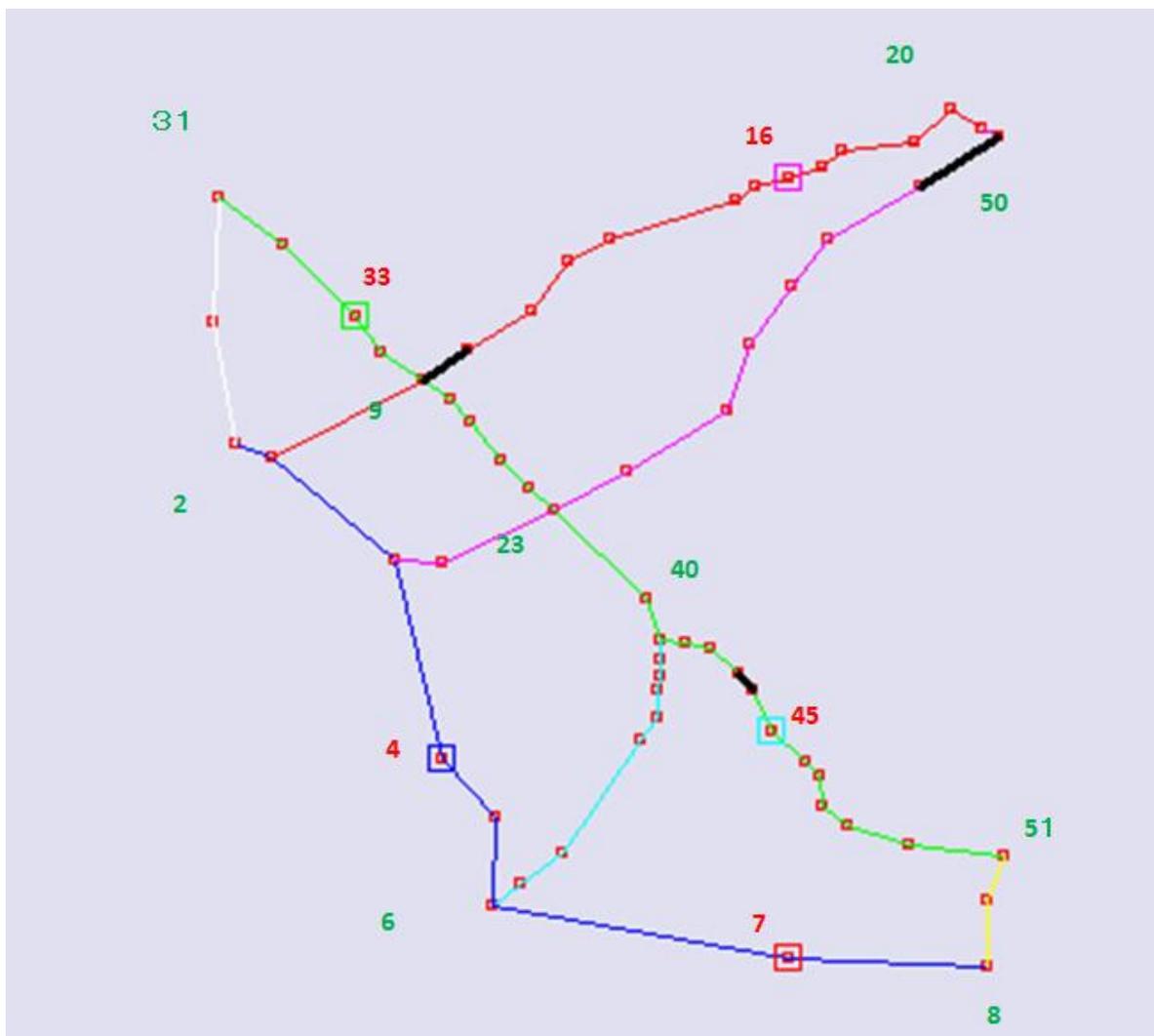


図23 実験に用いた道路データベース

8.4 避難経路探索要求への応答

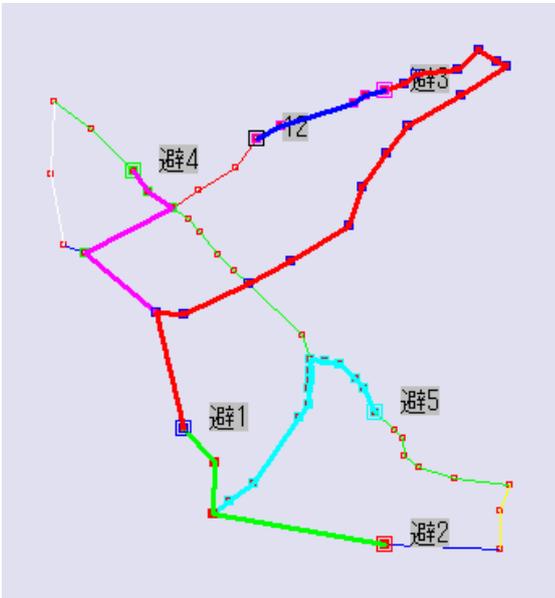
すべての避難所への距離の小さい順に経路を示している。順位と線の色に対応は図 24 に示すとおりである。

1 位	青色
2 位	赤色
3 位	桃色
4 位	緑色
5 位	淡青

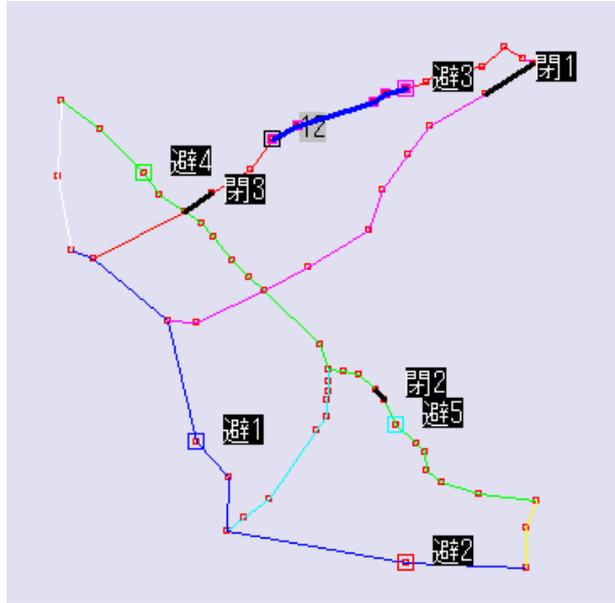
図 24 順位と線の色との対応

☆case 1

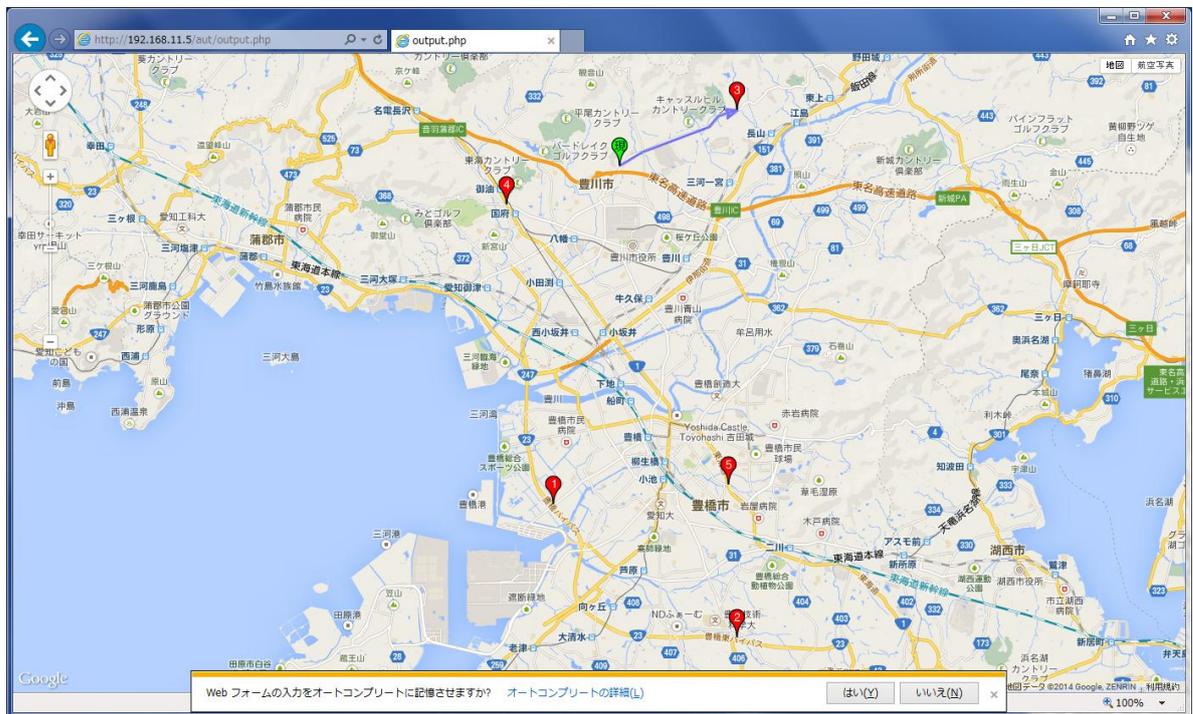
交差点 12 からの要求への応答を図 25(b) 示す。第 3 避難所が最適であることと経路が示されている。なお閉鎖道路がない場合を(a)に示した。



(a) 閉鎖道路がない場合



(b) 閉鎖道路が図 17 の場合

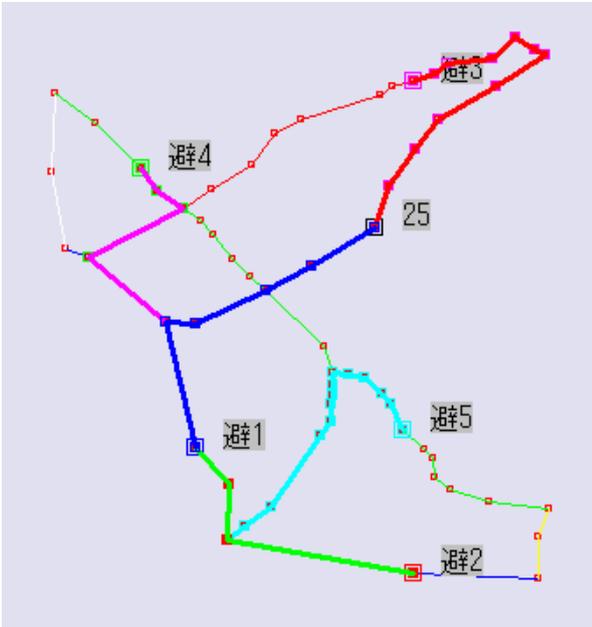


(c) 本システムの表示

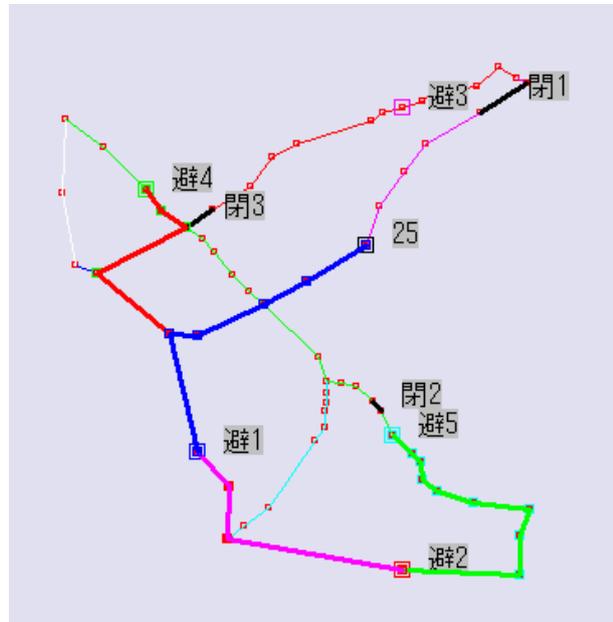
図 25 要求への応答

☆case2

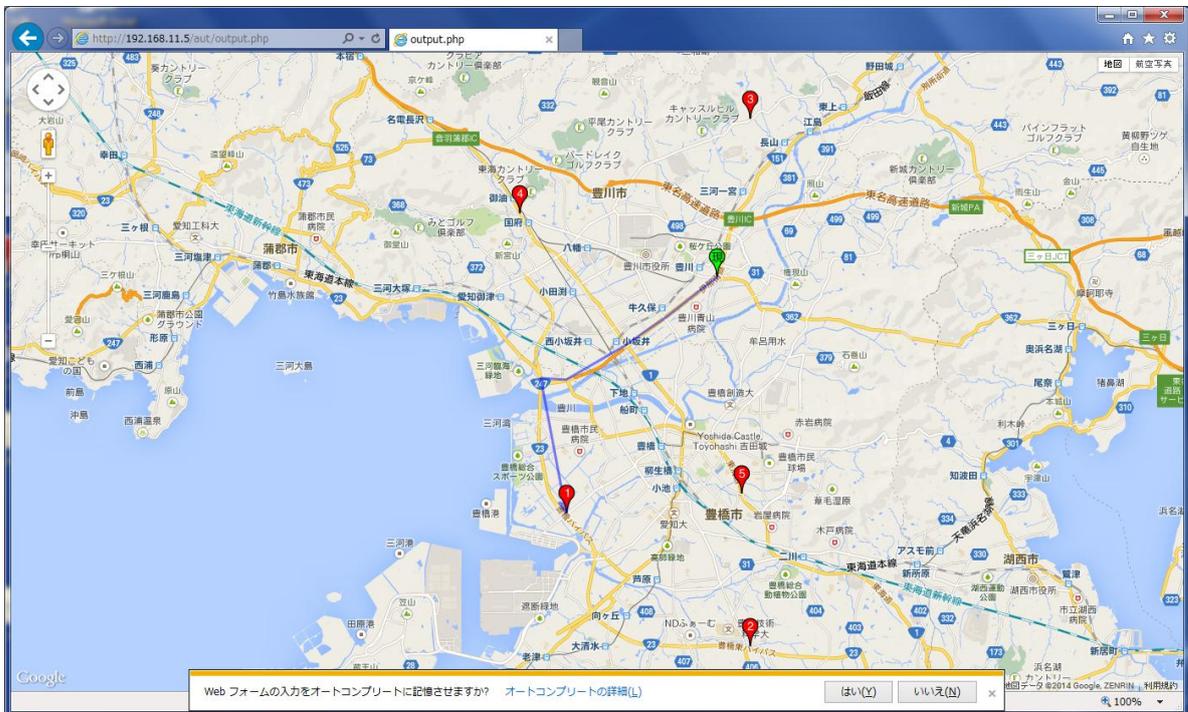
交差点 25 からの要求への応答を図 26(b) 示す。第 1 避難所が最適であることと経路が示されている。なお閉鎖道路がない場合を(a)に示した。



(a) 閉鎖道路がない場合



(b) 閉鎖道路が図 17 の場合

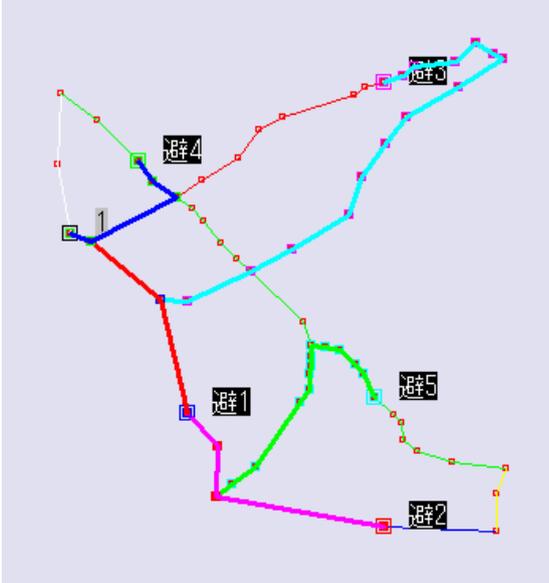


(c) 本システムの表示

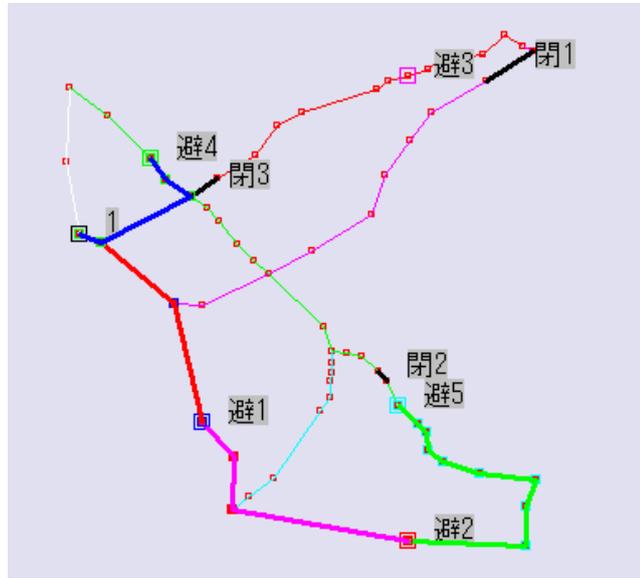
図 26 要求への応答

☆case3

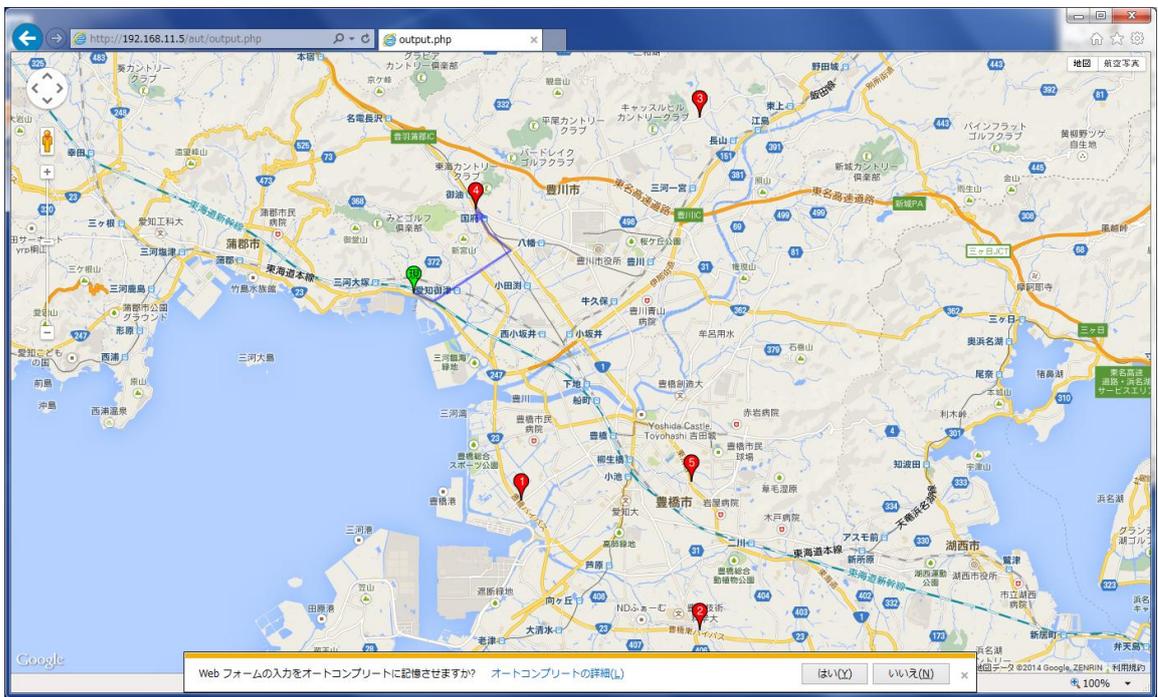
交差点1からの要求への応答を図27(b)示す。第4避難所が最適であることと経路が示されている。なお閉鎖道路がない場合を(a)に示した。



(a) 閉鎖道路がない場合



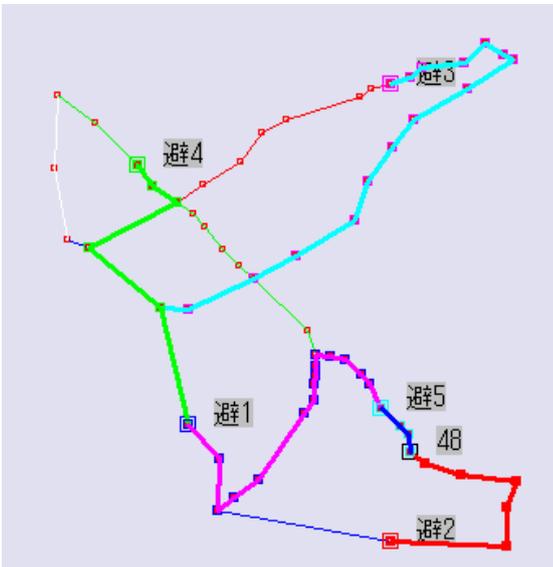
(b) 閉鎖道路が図17の場合



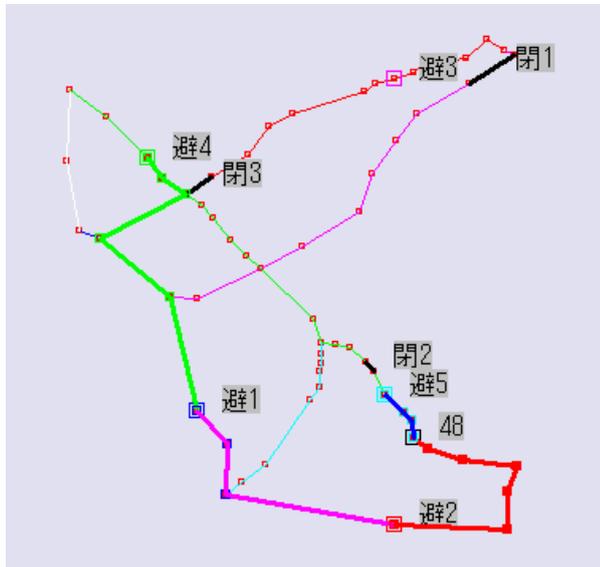
(c) 本システムの表示
図27 要求への応答

☆case4

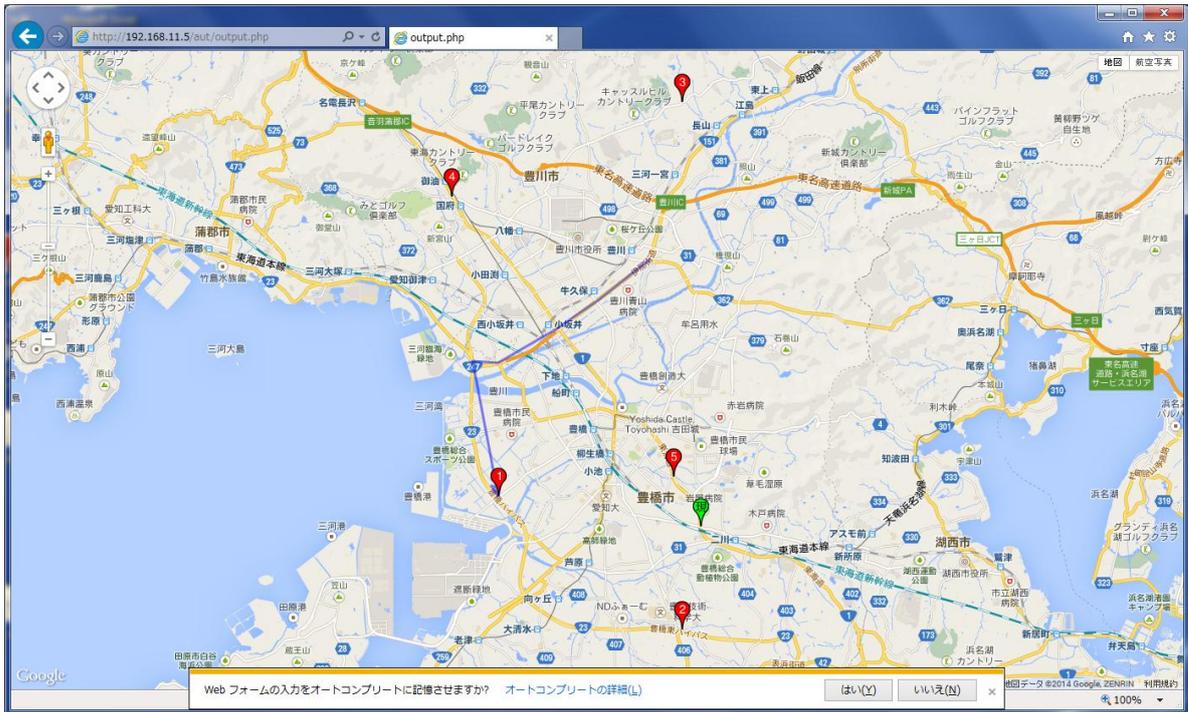
交差点 48 からの要求への応答を図 28(b) 示す。第 5 避難所が最適であることと経路が示されている。なお閉鎖道路がない場合を(a)に示した。



(a) 閉鎖道路がない場合



(b) 閉鎖道路が図 17 の場合



(c) 本システムの表示

図 28 要求への応答

第9章 考察

9.1 実行環境

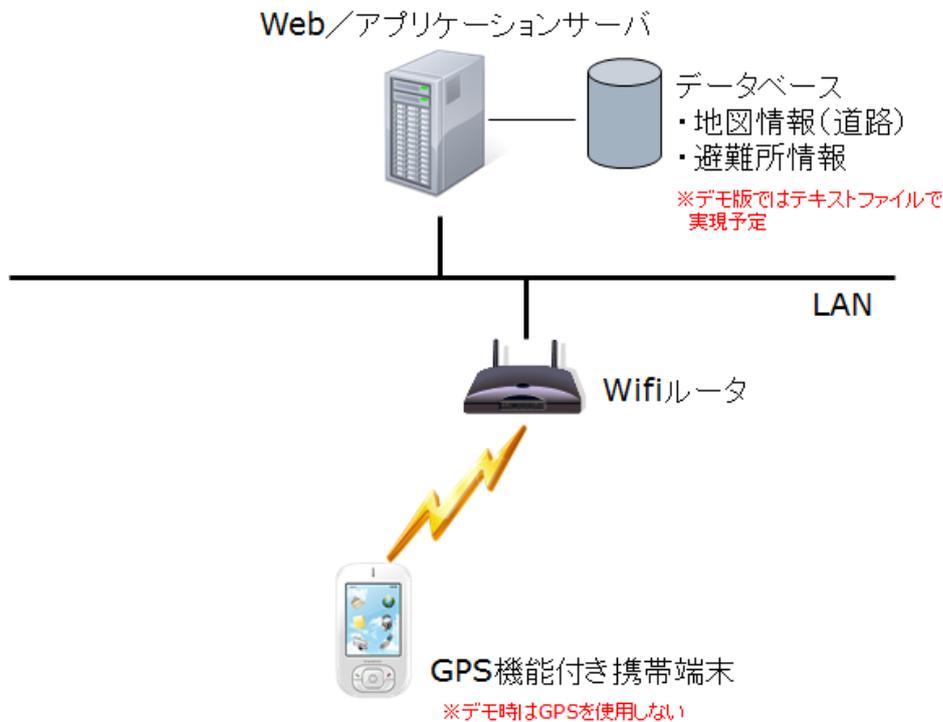


図 29 実験環境

実験は図 29 のように構内 LAN の環境で行った。したがって携帯端末が機能することは確認できたが現在位置を知らせるといった機能は利用できなかった。

実運用の際には LAN に代わってインターネットに接続する必要があり、サーバーを設置するセンターにおいて IP アドレスの取得、セキュリティの管理などが必要となる。また、センターの Web サイトにおくことが可能であれば望ましい。

9.2 本システムの効果

開発したシステムは、本研究の目的を十分に達成したと考えられる。

加えて、本システムを用いて佐々マナシミュレーションが可能であり、以下に述べるような結果が得られることが判った。

9.2.1 避難所設定時に得られるもの

- ・各交差点ごとに平常時の最適避難所が得られる。
- ・各避難所ごとに当該避難所が最適な交差点のリストが得られる。

- ・クリティカルパス、すなわち多くの避難者が通過する道路辺リストが得られる。

9.2.2 道路状況受信時に得られるもの

- ・9.2.1 で得られたリストを道路状況に合わせて更新できる
- ・避難所へ行くことができない交差点のリストが得られる。

9.3 実用化に向けて

本研究において「災害時避難における経路誘導システム」のプロトタイプが作成されたが、実用化に向けては、詳細な道路データベース、実際の避難所、災害時に道路状況が悪化する可能性の大きい道路などの実データを用いてシミュレーションを行うことが必要と思われる。以下に例を示す。

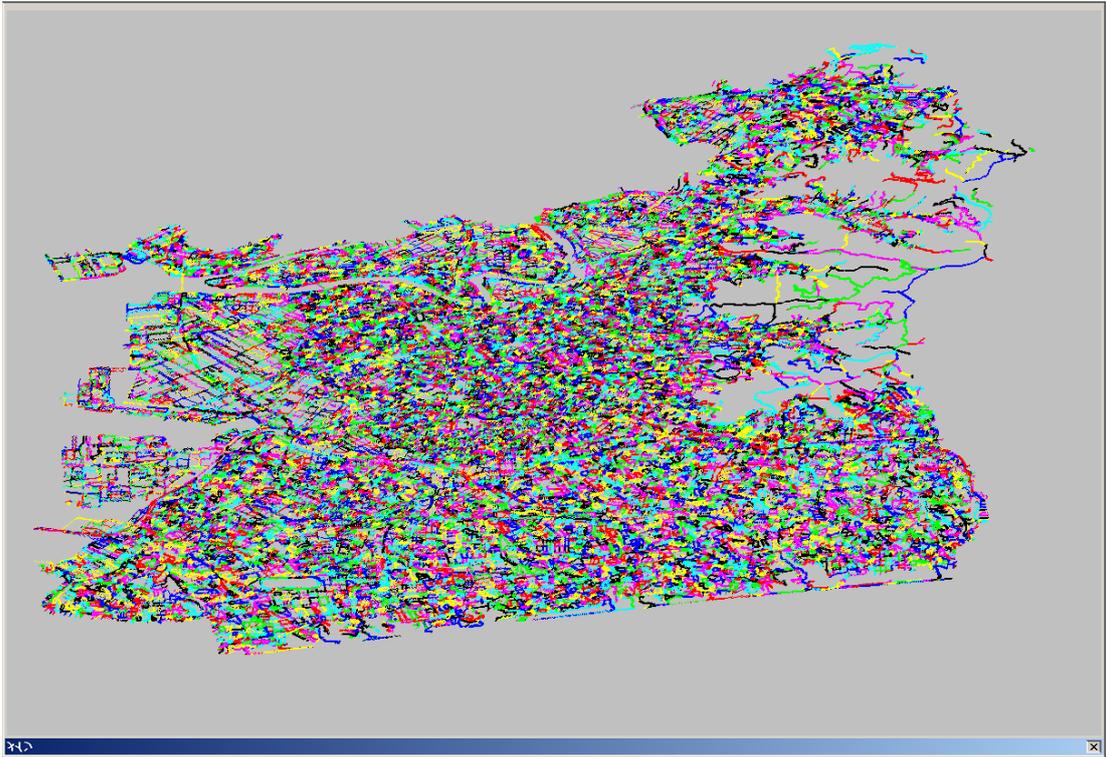


图 30 道路_豊橋市. shp

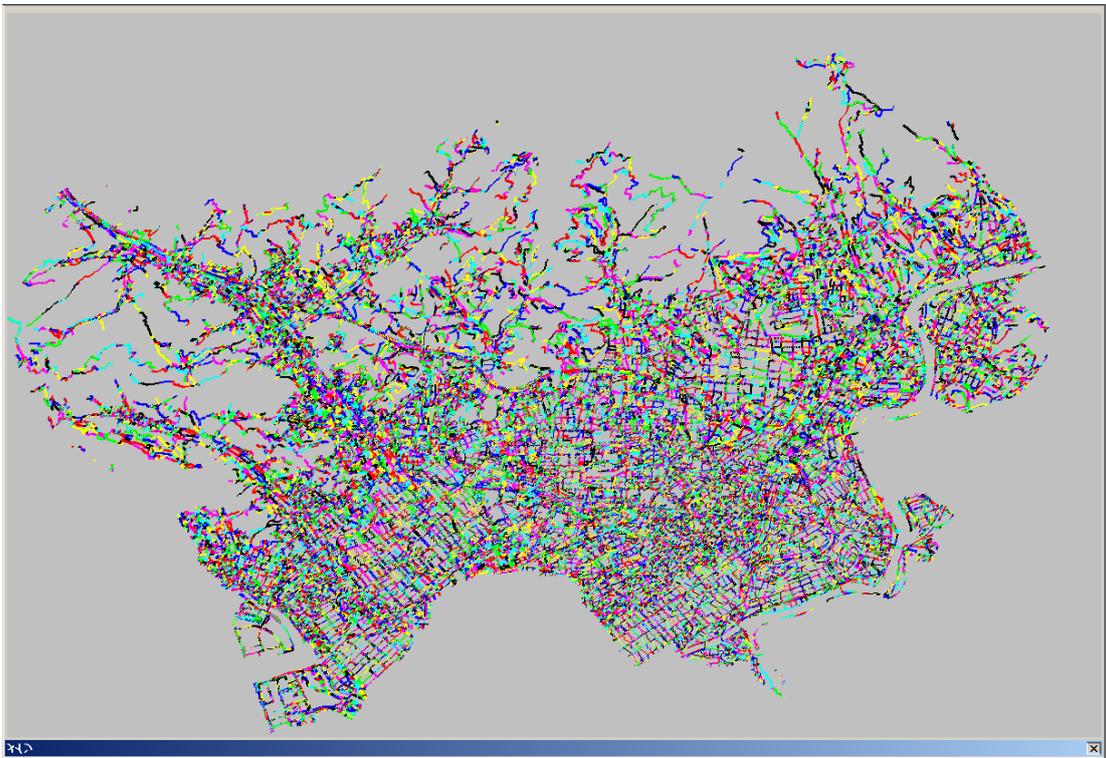


图 31 道路_豊川市. shp

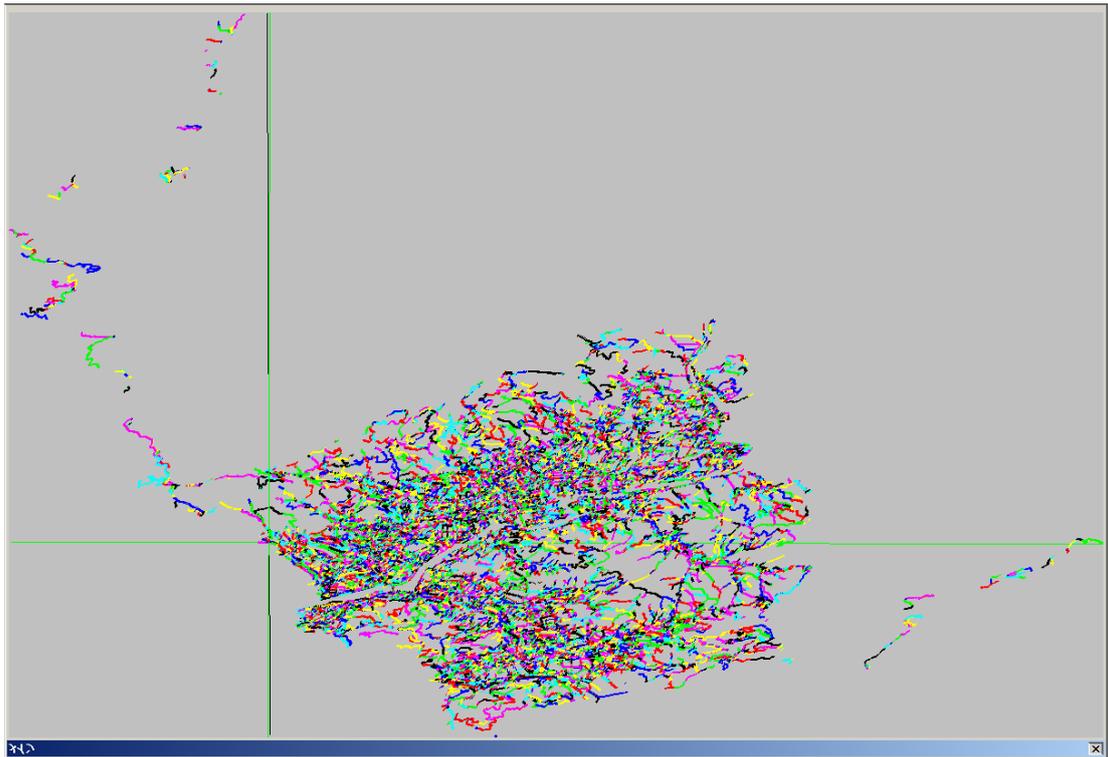


图 32 道路线（新城市）.shp

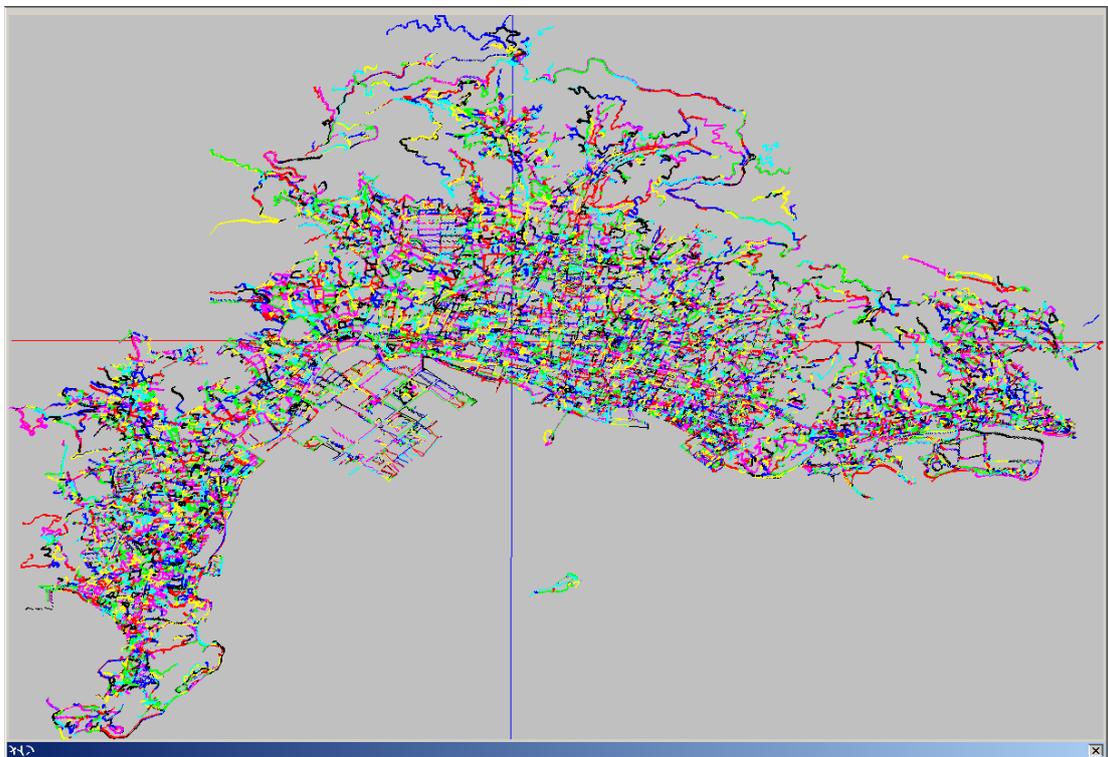


图 33 道路线（蒲江市）.shp

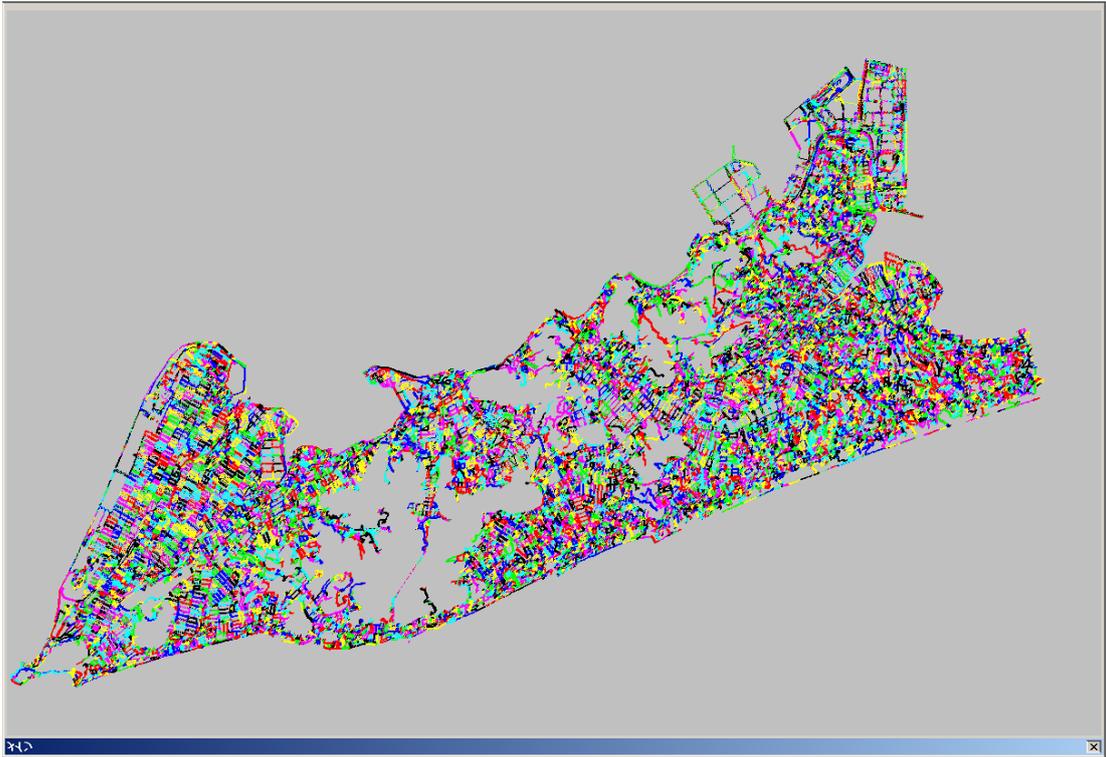


図 34 道路線 (田原市) .shp

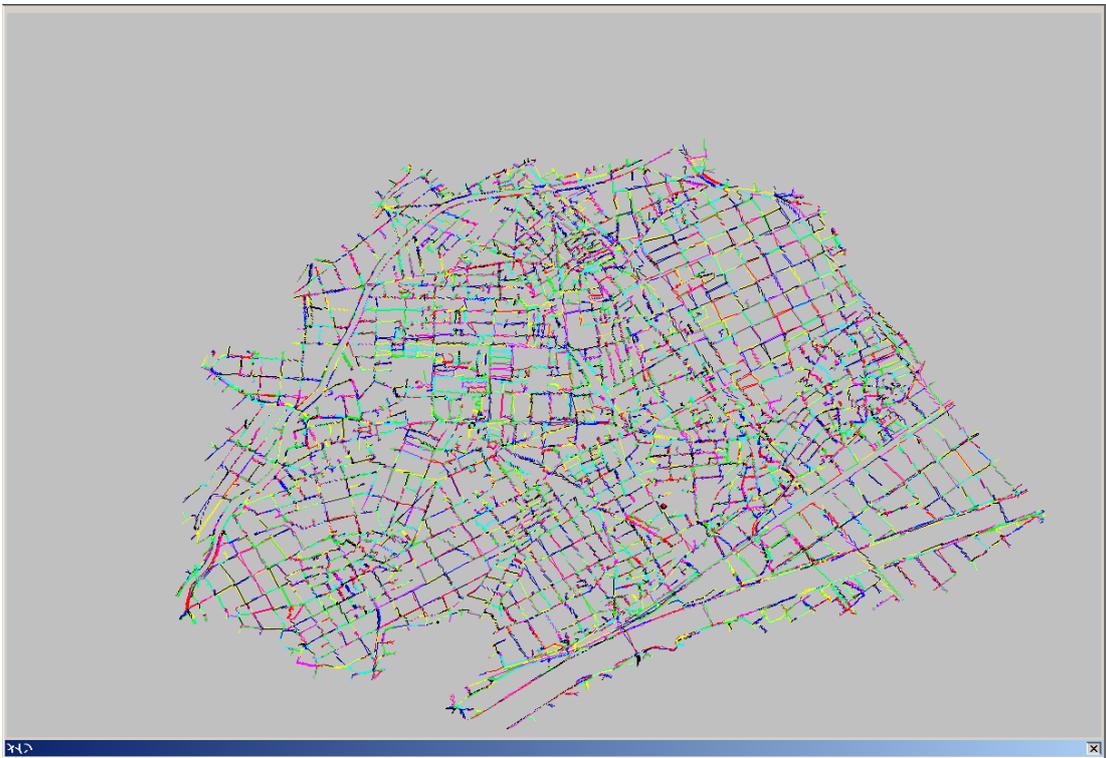


図 35 道路線 (小坂井町) .shp