

防災アダプト・プログラムにおける情報伝達のための3次元地理空間情報と民間企業情報の分析および表現に関する研究

代表研究者 平岡 透 大分工業高等専門学校情報工学科准教授
共同研究者 亀野 辰三 大分工業高等専門学校都市・環境工学科教授

1 はじめに

本研究では、防災アダプト・プログラムが効果的に機能するように地理空間情報を用いた分析および表現手法を開発することを目的として、次の3つの研究を行った。

- ① 地域防災における民間企業の共助意識に関する調査研究
- ② 空間情報の3次元化とその分析と表現に関する研究
- ③ 空間情報の分析と表現に関する基礎研究

以下に、本研究の概要を報告する。

2 研究内容

2-1 地域防災における民間企業の共助意識に関する調査研究

大分市三佐地区に立地する民間企業、公益法人、医療機関、教育機関等、全253社に対してアンケート調査を実施した。調査項目は次の通りである。

- 1) 防災活動に積極的に取り組む必要性
- 2) 災害時に、民間企業が地域の防災活動を担う役割とその重要度
- 3) 民間企業が地域防災に積極的に関わることで生じる効果（メリット）
- 4) 民間企業における地域防災に関する総合評価
- 5) 地域の防災活動に積極的に関与できる条件
- 6) 地域での防災活動で一緒に取り組んでいる団体
- 7) 地域での防災活動の周知の方法
- 8) 今後の地域での防災活動の展開方法
- 9) 自治体との防災協定締結の有無とその名称
- 10) 災害時における物品・人員の提供の有無
- 11) 災害時における避難者のための受け入れ場所の提供の可能性
- 12) 災害時における避難者を受け入れ可能人数
- 13) 企業に関する属性（従業員数、建物階数、構造、業種、創業年数等）

調査方法は配布・回収とも郵送法を用いた。調査期間は平成25年10月2日～平成25年12月15日までである。回収後、単純集計を行い、次に多変量解析の一種である因子分析を試みた。発送数253、回収数48、回収率19.0%であった（民間企業43社、民間企業以外5社）。

上記2)に関する因子分析からは「地域社会とのつながり」、「自社での体制整備」、「災害時での物資等の提供」、「避難訓練への参加」の4つの因子が抽出され、民間企業はこれらの心理側面で地域防災における民間企業の役割と重要度を捉えていることが判明した。また、民間企業を類型化するために、上記3)に因子分析を適用した。その結果、「社員の士気向上」・「自社イメージの向上」・「自社での体制整備」の3つの因子が抽出され、これらの因子が民間企業が地域防災に関わることで生じる効果と捉えていることが明らかとなった。また、類型化を行うことにより、地域防災に関わることで効果を感じている企業が明らかとなる一方で、地域防災に関わっても効果を感じられない企業の特長も明らかになった。

2-2 空間情報の3次元化とその分析と表現に関する研究

道路ネットワークデータ（財団法人日本デジタル道路地図協会提供）の構成点に5mメッシュのDEM（Digital Elevation Model）（国土地理院提供）を用いて最近隣内挿法で標高を付与した。同様に、建物データ（大分市都市計画部都市計画課提供）の重心の地盤高を5mメッシュのDEMを用いて最近隣内挿

法で標高を付与した。また、建物データの高さは1階の高さを3mとして建物階数を乗じることによって設定した。

標高を付与した3次元空間情報を用いて、健常者や災害時要援護者別の三佐小学校や避難可能な建物までの避難可能な範囲を視覚的および定量的に分析・評価した。このとき、建物データの重心位置から最近隣の道路ネットワークデータ上の位置までの移動時間や津波避難ビルの安全な階数まで移動する時間を考慮した。別府湾地震と南海トラフ地震で発生した津波に対してそれぞれ評価を行った。また、健常者と災害時要援護者別でも評価した。現在、大分市三佐地区で公的に指定されている津波避難ビルは、三佐小学校のみである。そこで、三佐小学校のみを津波避難ビルとした場合の避難可能範囲を分析・評価した。このとき、三佐小学校への出入口は、現地調査の結果、図4に示す黒丸の2箇所のみであった。別府湾地震での大分市三佐地区付近の津波高と津波到達時間を、2012年11月26日に大分県庁で開かれた県地域防災計画再検討委員会の有識者会議の想定部会の新聞発表(2012)を参考に、それぞれ7.33mと18分と設定した。また、南海トラフ地震での大分市三佐地区付近の津波高と津波到達時間を、それぞれ3.66mと88分と設定した。この結果を図1から図4に示す。



図1 三佐小学校までの避難可能範囲
(別府湾地震・健常者)



図2 三佐小学校までの避難可能範囲
(別府湾地震・災害時要援護者)



図3 三佐小学校までの避難可能範囲
(南海トラフ地震・健常者)



図4 三佐小学校までの避難可能範囲
(南海トラフ地震・災害時要援護者)

2-3 空間情報の分析と表現に関する基礎研究

地理情報の DEM を補間および圧縮する新しい方法を開発した。DEM の補間には結合特異値分解およびバイラテラルフィルタを、DEM の圧縮にはバイラテラルフィルタを用いた。また、航空機搭載型レーザスキャナデータからバイラテラル最小値フィルタとバイラテラル最大値フィルタを用いて地面の点を抽出する新しい方法も開発した。さらに、区分的法線ベクトルを用いて建物データを高速に描画する方法も開発した。

(1) 結合特異値分解を用いた DEM の補間

結合特異値分解を用いて DEM の未知点を補間する方法を提案した。結合特異値分解は、多重画像での画像内と画像間の両方の冗長性を圧縮する方法である。ここではこの多重画像の圧縮を DEM に応用するに当たり、DEM をブロック分割して、各ブロックを多重画像の各画像に対応づけた。このとき、ブロック内の冗長性はブロック内の相関に基づいた特異値分解によって圧縮され、地形の主要な特徴を表現することになる。一方、ブロック間の冗長性はブロック間の相関に基づいて圧縮され、類似したブロックが多いほど地形の特徴を表現しやすくなる。一般的に、冗長性の圧縮と再現性はトレードオフの関係にある。提案法では、結合特異値分解を用いて DEM の冗長性を圧縮し、その後復元した DEM の未知点の標高を求めた。提案法によって再現される未知点の標高は、主要な地形の特徴によって補間されることになる。

提案法を起伏のある 2.0km×1.5km の範囲の 5m メッシュの DEM (国土地理院発行「数値地図 5m メッシュ (標高)」) に適用した。「数値地図 5m メッシュ (標高)」は、0.1m の単位で標高が格納されている。DEM にランダムに選択された 100 点の未知点があるとし、正方ブロックサイズ (提案法でのパラメータの一つ) を 5, 10, 20, 25, 50 として実験を行った。実験の結果を図 5 と図 6 に示す。図 5 は、提案法で補間された未知点の標高と未知点の作成前の標高の差の絶対値 (較差) の平均と、補間で使用した特異ベクトルおよび特異値の数 (特異数) の関係を表わしている。図 6 は、較差の最大値と特異数の関係を表わしている。

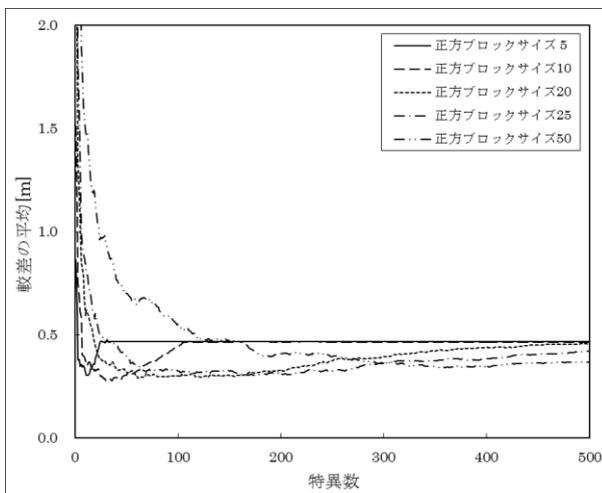


図 5 較差の平均と特異数の関係

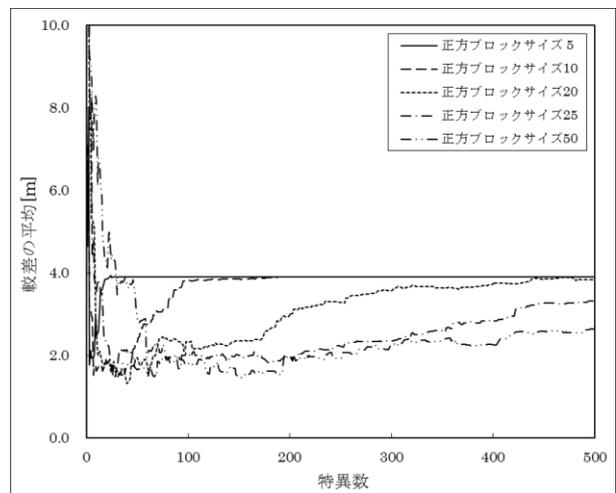


図 6 較差の最大値と特異数の関係

(2) バイラテラルフィルタを用いた DEM の補間

ある地点と類似した地形が周辺地域にも存在すると仮定して、バイラテラルフィルタを用いて DEM を補間する方法を提案した。提案法はモードフィルタを用いる方法 (以下、従来法) と類似しており、従来法は DEM の補間する点にあらかじめ初期値として設定した標高の影響を受けるが、提案法は逐次更新された標高を用いて処理するため初期値として設定した標高の影響を受けにくいと考える。

提案法を起伏のある 2.0km×1.5km の範囲の 5m メッシュの DEM (国土地理院発行「数値地図 5m メッシュ (標高)」) に適用した。DEM に 1×1, 2×2, 3×3, 4×4, 5×5 の未知点の塊がランダムに 100 箇所あるとして、提案法と従来法を用いてそれぞれ実験を行った。この実験で得られた較差の平均と最大

値をそれぞれ表 1 と表 2 に示す。

表 1 提案法と従来法の比較 (較差の平均 [m])

塊の大きさ	提案法	従来法
1×1	0.216	0.252
2×2	0.304	0.336
3×3	0.364	0.452
4×4	0.466	0.623
5×5	0.546	0.730

表 2 提案法と従来法の比較 (較差の最大値 [m])

塊の大きさ	提案法	従来法
1×1	1.229	1.245
2×2	1.942	1.979
3×3	2.952	2.962
4×4	4.198	5.126
5×5	5.377	6.676

(3) バイラテラルフィルタを用いた DEM の圧縮

DEM の標高を実数のまま取り扱うことができるバイラテラルフィルタを用いた DEM の圧縮の方法を提案した。提案法を起伏のある 2.0km×1.5km の範囲の 5m メッシュの DEM (国土地理院発行「数値地図 5m メッシュ (標高)」) に適用した。結合特異値分解を用いた方法との比較実験を行うことでも提案法の有効性を検証した。提案法と結合特異値分解を用いた方法を比較した結果を図 7 に示す。図 7 の横軸が圧縮率、縦軸が平均較差を表している。

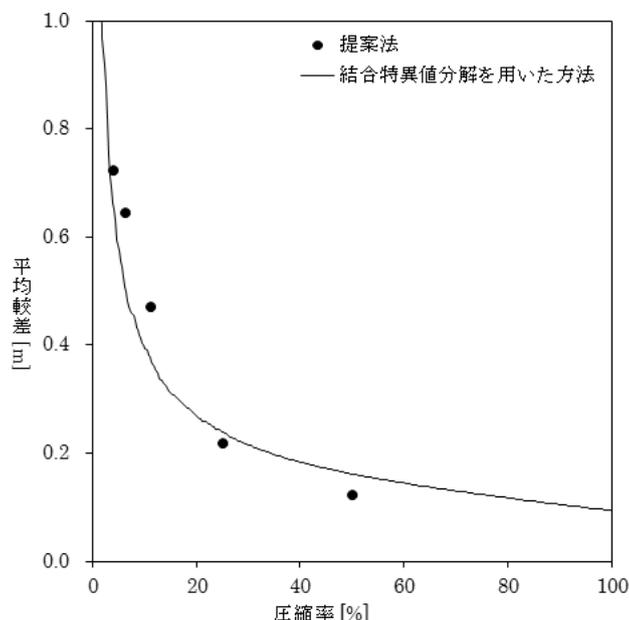


図 7 提案法と結合特異値分解を用いた方法の比較

(4) バイラテラル最小値/最大値フィルタを用いた航空機搭載型レーザスキャナデータからの地面抽出

バイラテラル最小値フィルタとバイラテラル最大値フィルタを用いて航空機搭載型レーザスキャナデータ (国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所提供) から地面の点を抽出する簡易な方法を提案した。提案法を傾斜や建物、草木が存在する 400m×400m の範囲で最低標高が 3.09m, 最高標高が 64.10m の LS データに適用した。提案法によって抽出された地面の点を図 8 に示す。



図 8 提案法によって抽出された地面の点

(5) 区分的法線ベクトルを用いた建物データの高速描画

建物側面カリング法の計算処理を区分的法線ベクトルを用いて削減して建物データを高速に描画する方法を提案した。提案法は、法線ベクトルを北から東回りにある一定角度で区分されたグループに割り当て、法線ベクトルと視線ベクトルのなす角の計算量を削減する。

大分市の建物データ 167,425 軒 (図 9 参照) を用いた実験を通してその有効性を検証した。大分市内の建物データにおいて、建物データの上面のポリゴン数は 167,425 個、建物データの側面のポリゴン数は 1,256,313 個、建物データの全体のポリゴン数は 1,423,738 個であった。図 9 に示す視点 1 と視点 2 (標高 500m) で描画した描画時間はそれぞれ 0.087 と 0.183 秒であった。計算環境は、OS が Windows 7 Home Premium, CPU が 2.30GHz, メモリが 8.00GB, グラフィックチップが NVIDIA GeForce GT630M, 使用言語は VC++ と OpenGL である。

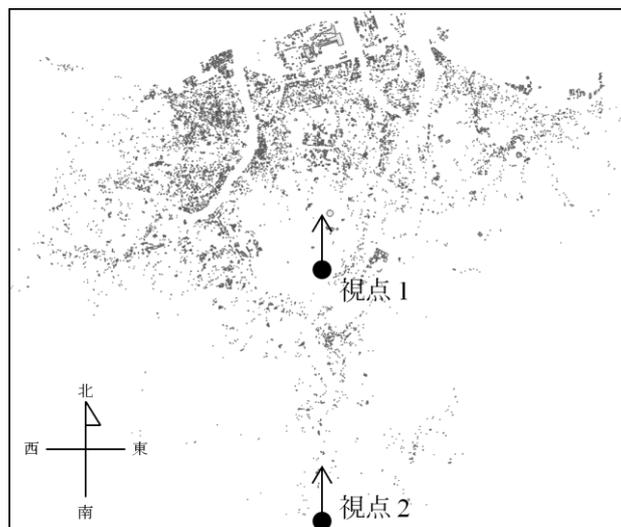


図 9 大分市の建物データ

3 まとめ

本研究では、防災アダプト・プログラムが効果的に機能するように地理空間情報を用いた分析手法を開発することを目的として、①地域防災における民間企業の共助意識に関する調査研究、②空間情報の3次元化とその分析と表現に関する研究、③空間情報の分析と表現に関する基礎研究を行った。

今後の課題は、次の通りである。

- ・①の研究で地域防災における民間企業の共助意識に関する意識調査を行ったが、全国的に先行研究が乏しく、また民間企業の共助に関する意識調査の事例も少なかったために、調査票の設計に時間を要した。そのために、三佐地区内の企業と協力して調査票を設計したが、南海トラフ巨大地震や別府湾を震源とする巨大津波で甚大な災害が予想されている同地区にも関わらず、アンケートの回収率が20%に届かなかった。まだまだ民間企業が“共助”を担うという意識が乏しい実態が明らかになったが、今後はこれらの問題に対する対策が必要である。
- ・②の研究では、建物の構造や収容人数、避難者間の情報伝達などを考慮した避難場所を選定する方法を開発する必要がある。また、アンケート調査の結果を空間情報の分析に反映させる必要があるが、アンケート調査の返答のない企業の取り扱い方を検討する必要がある。
- ・③の結合特異値分解を用いたDEMの補間では、提案法がより効果的に使用できるように、未知点の標高に初期値を付与する方法を検討する必要がある。また、より多くの場所で実験を行い、地形の範囲や形状に応じたより最適な正方ブロックサイズを設定する方法や特異値の数を設定する方法を明らかにする必要がある。
- ・③のバイラテラルフィルタを用いたDEMの補間と圧縮では、より多くの場所で実験を行い、地形の起伏に応じた場所ごとに異なる最適なパラメータの値を自動で設定する方法を開発する必要がある。
- ・③のバイラテラル最小値/最大値フィルタを用いた航空機搭載型レーザスキャナデータからの地面抽出では、急斜面で草木が密集している場所にも提案法を適用できるように改良する必要がある。また、提案法の各種パラメータを変えての比較実験を行うことも今後の課題である。さらに、地形の起伏や建物密集地、草木部などに応じた場所ごとに異なる最適なパラメータの値を自動で設定する方法を開発することも考えている。
- ・③の区分的法線ベクトルを用いた建物データの高速描画では、提案法にLODの技術を組み込み、建物データの上面の点数を削減することで、より広範囲の建物データに対して高速化を行う必要がある。
- ・③の基礎研究の成果を防災アダプト・プログラムにどのように組み込むかも今後の課題である。

民間施設の津波避難ビルとしての有効活用は今後推進すべき重要課題と考えられる。しかし、津波の発生時間帯や地震の影響など現実的に考慮すべき点が残されていると考える。また、津波避難ビルをあらかじめ定めておき、細かく津波避難ビルを決めておく場合、浸水状況、水の流れも含めてシミュレーションを行い、避難経路も決めておく必要があると考える。

【参考文献】

- 亀野辰三, 平岡透, 2014. “アダプト・プログラムとしての宇佐市フラワーロード花いっぱい運動の評価”, 日本都市学会年報, Vol.47, pp.137-143.
- 大分合同新聞, 2012. “浸水危機県都に拡大 県が予測図作成”, 2012年11月29日朝刊.
- 国土交通省都市局, 2012. “津波被災市街地復興手法検討調査 (とりまとめ)”, <http://www.mlit.go.jp/common/000209868.pdf>.
- 内閣府津波避難ビル等に係るガイドライン検討会, 2005. “津波避難ビル等に係るガイドライン (案)”, <http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/h17/pdf/050323shiryou2.pdf>.
- 浜松市教育委員会, 2011. “学校・幼稚園の津波対応マニュアル (暫定版) Ver.1”, <http://www.city.hamamatsu-szo.ed.jp/shikyoi/1sosiki/shido/shidouka-jigyou/kyoiku-shido/bousai/tsunami.ver1.pdf>.
- 国土交通省都市局街路交通施設課, 都市計画課, 2011. “東日本大震災の津波被災現況調査結果 (第3次報告) ~津波からの避難実態調査結果 (速報) ~”, <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>.
- B. Pesquet-Popescu, J. -C. Pesquet and A. P. Petropulu, 2001. “Joint Singular Value Decomposition – A New Tool for Separable Representation of Images”, Proc. ICIP, Vol.2, pp.569-572.

- 平岡透, 浦浜喜一, 2008. “モードフィルタを用いた自己相似性による欠損 DEM の補間法”, 写真測量とリモートセンシング”, Vol.47, No.5, pp.77-80.
- C. Tomasi and R. Manduchi, 1998. “Bilateral Filtering for Gray and Color Image”, Proc. ICCV, pp.839-846.
- 平岡透, 野中尋史, 亀野辰三, 2012. “結合特異値分解による DEM のデータ圧縮”, 写真測量とリモートセンシング, Vol.51, No.4, pp.232-236.
- 于子涵, 浦浜喜一, 2014. “バイラテラル最小値フィルタとバイラテラル最大値フィルタによる画像のコントラスト強調”, 電子情報通信学会技術報告, Vol.113, No.431, pp.19-24.
- 平岡透, 浦浜喜一, 2003, “リアルタイムレンダリングのための DEM の高速描画方式”, APA, No.84, pp.27-29.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
結合特異値分解による DEM の補間法	写真測量とリモートセンシング	2013 年 5 月
大分市三佐地区における地理空間情報を用いた津波災害時の避難可能範囲の検証	GIS—理論と応用	2013 年 6 月
バイラテラルフィルタを用いた DEM の圧縮	日本高専学会誌	2013 年 10 月
区分的法線ベクトルを用いた建物データの高速描画法	日本高専学会誌	2013 年 10 月
“共助”に着目した地域防災における民間企業の役割に関する研究	第 19 回高専シンポジウム in 久留米講演要旨集	2014 年 1 月
反復バイラテラルフィルタを用いた DEM の補間	写真測量とリモートセンシング	2014 年 5 月
バイラテラル最小値フィルタとバイラテラル最大値フィルタを用いた航空機搭載レーザスキャナデータからの地面抽出	写真測量とリモートセンシング	2014 年 7 月