

(9) 自治体公表データを用いた被災状況地図作成手法に関する予備的検討

Preliminary study on mapping disaster-affected areas using data from local governments

大和田彬¹・島崎彦人²

Owada Akira and Shimazaki Hiroto

抄録：千葉県内の 54 市町村が公表している東日本大震災に関連する被災状況データを収集するとともに、データの欠損部分を空間内挿することによって、わかりやすい被災状況地図の作成を試みた。その過程において、空間依存性の表現手法としてこれまでに提案されている一般化重み行列 W の問題点を指摘し、新たな空間重み行列 W^* を提案した。さらに、新たな空間重み行列 W^* と既往の一般化重み行列 W のそれぞれによる推定結果の妥当性を検討するために、Leave-one-out 法に基づく交差確認を行った。その結果、新たな空間重み行列 W^* を用いた場合のほうが、全ての被害項目において推定性能が向上することがわかった。

キーワード： 空間依存性、一般化重み行列、空間内挿

Keywords : Spatial dependence, Generalized weight matrix, Spatial interpolation

1. まえがき

自然災害の被災状況を広範囲にわたって把握するうえで、多種多様なデータを地理座標に関連付けながら一元的に管理、分析、可視化できる地理情報システム (Geographic Information System; GIS) は有用である¹⁾。2011 年 3 月 11 日に発災した東日本大震災においても、発災の翌日には、内閣府のもとに東北地方太平洋沖地震緊急地図作成チーム (Emergency Mapping Team; EMT) が設置され、意思決定や状況認識の統一を支援するための数々の主題図が、GIS を用いて作成された²⁾。

被災状況を的確に把握できる地図を作成するためには、信頼性の保証された被災状況データを、迅速かつ欠損無く収集することが必要となる。これを実現するためには、平常時から、そのための仕組み作りに取り組むことが重要である。しかし、深刻な被害が発生した場合には、構築した仕組みが機能しないまま情報伝達が滞り、理想的なデータが入手困難となることも予想される。そのため、被災状況を欠損データに基づいて把握するための工夫も必要となる。

被災状況データの欠損部分は、人間の認識能力を働かせることによって、ある程度は主観的に予測することができる。しかし、そうした予測結果には個人差が含まれるため、状況認識の統一を図るうえでは都合が悪い。より客観的な方法で欠損部分の予測を行うために、これまで、種々の空間内挿手法が検討されてきた³⁾。特に、自治体などの面域単位で集計されたデータの欠損を予測するうえでは、面域同士の空間的な位置

関係に基づいて定義される一般化重み行列を用いた空間内挿手法が提案されている⁴⁾。しかし、既往の一般化重み行列には汎用性の点で問題がある。そのため、処理対象データの欠損様式を考慮しながら、より適切な重み行列を定義する必要がある。

本研究は、自然災害の被災状況地図を作成する際に使用する、自治体公表データの問題点について整理するとともに、その問題への対処方法について検討する。本報では、特に、千葉県内の 54 市町村が公表している東日本大震災に関連する被災状況データを収集し、各自治体によって集計、公表されている被害項目には、必ずしも統一性がなく、データの欠損も多いことを示す。さらに、このことが、被災状況地図を作成するうえでどのような問題を引き起こすのかを指摘し、その問題に対処するための空間内挿手法について議論する。

2. 方法

(1) ベースマップの整備

千葉県全域の被災状況地図のベースマップを作成するために、国土地理院提供の基盤地図情報縮尺 25000 レベル⁵⁾ および基盤地図情報数値標高モデル⁵⁾のデータを使用した。縮尺 25000 レベルのデータからは、行政界や交通網、水系などの地物データを抽出し、縮尺に応じて表示状態が変化するデジタルベースマップを作成した。数値標高モデルからは、陰影起伏図を作成し、地形の起伏の違いから場所を特定するための補助とした。

1 : 学生会員 木更津工業高等専門学校 環境建設工学専攻

(〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 11-1, Tel : 0438-30-4000, E-mail : owada.akira@gmail.com)

2 : 正会員 工博 木更津工業高等専門学校 准教授 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 11-1)

表 - 1 整備した地理行列. NA はデータ欠損の意味.

市町村	人的被害				建物被害							
	死亡	行方不明	重傷	中軽傷	全壊	全焼	大規模半壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	
いすみ市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
佐倉市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
八千代市	NA	NA	NA	NA	5	1	1	8	614	NA	NA	
八街市	0	0	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
勝浦市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
匝瑳市	NA	NA	NA	NA	6	NA	NA	17	1460	8	24	
千葉市	0	NA	2	14	12	NA	221	232	NA	NA	NA	
南房総市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
栄町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
酒々井町	0	0	0	0	1	NA	NA	1	144	NA	NA	
印西市	0	NA	NA	7	11	NA	NA	18	451	NA	NA	
君津市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
四街道市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
大多喜町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
御宿町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
鋸南町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
富津市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
富里市	NA	NA	NA	3	12	NA	4	6	261	NA	NA	
山武市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
九十九里町	NA	NA	NA	1	0	NA	1	1	99	90	NA	
大網白里町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
横芝光町	0	0	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
芝山町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
市原市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
市川市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
成田市	0	NA	1	16	4	NA	NA	26	712	NA	NA	
我孫子市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
旭市	14	1	2	10	336	NA	432	507	2402	676	276	
木更津市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
東金市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
松戸市	0	0	0	12	12	NA	NA	129	1067	NA	NA	
柏市	1	NA	NA	22	1	NA	NA	2	1146	NA	NA	
流山市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
浦安市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
白井市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
習志野市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
船橋市	NA	NA	1	30	13	NA	122	274	1901	NA	NA	
茂原市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
袖ヶ浦市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
野田市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
鎌子市	0	1	2	17	28	NA	NA	110	1938	10	NA	
鎌ヶ谷市	NA	NA	NA	5	NA	NA	2	5	443	NA	NA	
一宮町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30	28	
白子町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
睦沢町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
長南町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
長柄町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
長生村	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
館山市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
香取市	NA	NA	NA	NA	195	NA	951	963	2355	NA	NA	
多古町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
東庄町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
神崎町	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
鴨川市	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

一部損壊 (観測値)

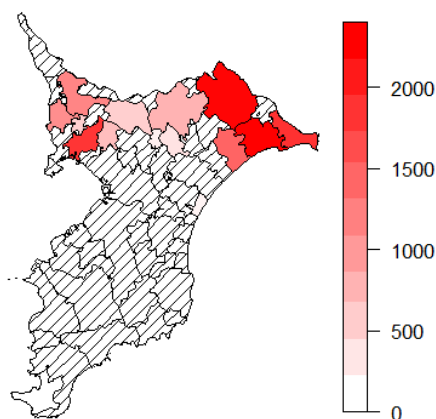


図 - 1 建物被害（一部損壊）件数の観測値. 斜線の面域は、データ欠損部であることを意味する.

整備した. そして、整備した幾何データと属性データを互いに関連付けることにより、被災状況に関する地理空間データとした.

GIS と構築した地理空間データを用いれば、市町村の面域を被害の程度に応じて色分け表示することは容易であり、被災状況を把握するための主題図を効率良く作成することができる. しかし、地理行列が疎な場合には、特定の被害項目に関する主題図を作成しても、データの欠損部が多くなるため、被害の空間分様式を把握することは困難となる (図 - 1) .

仮に人間の優れた認識能力を働かせ、欠損部の状態をある程度予測することができても、人間の主観に基づく方法では、個人差に由来した認識の不一致が生じ、意思決定に悪影響を与える恐れがある. このことから、地理行列が疎な場合には、何らかの内挿処理が必要となる.

本研究では、被害状況の類似度は、各市町村の空間的な位置関係に応じて変化する、との仮定に基づいて、各市町村の面域をサンプルとした空間内挿処理を行うこととした.

(4) 一般化重み行列の改良

面域単位で集計されたデータの空間内挿を行う際には、面域同士の類似性あるいは空間依存性をあらかじめ定量化しておく必要がある. そのための方法として、これまでに、一般化重み行列 $W^{(4)}$ が提案されている. 一般化重み行列は、面域間の距離と各面域を隔てる共有境界線の長さに基づいて、面域間の空間的な位置関係を表現し、これによって、面域同士の空間依存性を定量化したものである. 一般化重み行列の各要素の値は、式 (1) によって定義される.

$$w_{ij} \equiv (l_{ij} / \sum_{j \in J} l_{ij}) / d_{ij}, \quad (1)$$

(2) 被災状況データの整備

被災状況に関するデータは、千葉県内の 54 市町村のそれぞれが、インターネットを通じて公表している資料から入手した. 資料には、各市町村が集計した人的被害や建物被害の件数が記録されていた. しかし、それぞれの地域の被害の性質や程度の違いによって、集計されている被害項目の設定が異なり、各市町村での統一性に欠けていた. ここでは、異なる被害項目を無理に読み替えてデータの集約を図るのではなく、可能な限り元の被害項目を残したままの状態、行列形式のデータ整備を行った (表 - 1) . 以下、この行列形式のデータを地理行列⁶⁾と呼ぶ.

(3) 疎な地理行列の問題点と対処方法

GIS で扱う地理空間データは、場所を特定するための幾何データとその場の性質や状態を表す属性データから構成されている. 本研究では、国土地理院提供の基盤地図情報縮尺 25000 レベル³⁾を用いて市町村の面域を表現した幾何データを作成し、これとは別に、市町村単位で集計した地理行列を属性データと見なして

ここで、 d_{ij} は面域 i と j の幾何重心距離、 l_{ij} は2つの面域 i と j を隔てる共有境界線の長さ、 J は面域 i と接するすべての面域の集合を意味している。

一般化重み行列は、式 (1) の定義から明らかなように、共有境界線 l_{ij} の値が0の場合には、面域 i と j の幾何重心距離 d_{ij} の値に関わらず、 $w_{ij}=0$ となる点に問題がある。すなわち、面域 i と j が境界線を共有していない場合には、常に、空間依存性は存在しない、と評価してしまう点に問題がある。

本研究では、この問題点を改善するために、幾何重心距離に基づく重み行列 W_D と、共有境界線長に基づく重み行列 W_L を別々に計算したうえで、これらの行列の各要素を式 (2) に基づいて合成することで、新たな空間重み行列 W^* を定義した。

$$w_{ij}^* \equiv \sqrt{w_{Dij}^2 + w_{Lij}^2}, \quad i \neq j, \quad (2)$$

ここで、

$$w_{Dij} = d_{ij}^{-m} / \max\{[d_{ij}^{-m}]\},$$

$$w_{Lij} = l_{ij} / \max\{[l_{ij}]\},$$

$\max\{A\}$ は、行列 A の要素の中から最大値を返す関数であり、 m は非負のパラメタである。この定義から明らかなように、行列 W_D および W_L の各要素の値域はいずれも $[0, 1]$ である。また、面域間の空間依存性の強さ W^* は、 W_D と W_L を軸として張られる平面直交座標の原点からのユークリッド距離となる。

この新たな空間重み行列 W^* の定義の背景には、次のような仮定がある。すなわち、(1) 地形や地盤などの自然素因の類似性は、距離が近い場所ほど高くなる、そして(2) 土地利用や社会経済状況などの社会素因の類似性は、隣接する面域同士の共有境界線の長さが長いほど高くなる、という仮定である。これらの仮定が妥当なものであるならば、幾何重心距離 d_{ij} と共有境界線の長さ l_{ij} のそれぞれから異なる重み行列を算出し、最終的にそれらを合成するという考え方は自然であり、既往の一般化重み行列の定義よりも見通しが良いと言える。

(5) 空間内挿による欠損データの推定

被害件数の推定値 $\hat{y}_i$ は、第 i 市町村において、被害件数 y_i のデータが欠損していた場合にのみ、式 (3) を用いて推定した。式 (3) は、第 i 市町村を除く全ての周辺市町村 K の非欠損データと式 (2) で定義した重み行列 W^* との積和演算を意味している。

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{j \in K} w_{ij}^* y_j}{\sum_{j \in K} w_{ij}^*}. \quad (3)$$

(6) 推定手法の妥当性の検討

新たな空間重み行列 W^* と既往の一般化重み行列 W のそれぞれによる推定結果の妥当性を比較するために、Leave-one-out 法⁷⁾に基づく交差確認を行った。具体的な手順は、以下のとおりである。

- ある被害項目に関する n 個の観測値に対して、ひとつの観測値 y_i をテスト点であるとして除外し、除外した観測値 y_i の値を、残り $n-1$ 個の観測値 y_k ($i \neq k$) を用いて推定した。
- a) の処理を、テスト点を変えて n 回繰り返し、各テスト点に対する予測誤差 $e_i = y_i - \hat{y}_i$ を算出した。
- 得られた n 個の予測誤差 e_i から Root Mean Square Error (RMSE) を算出し、この RMSE 値に基づいて、新たな空間重み行列 W^* と既往の一般化重み行列 W の推定性能を比較した。

3. 結果と考察

(1) 被害項目の統一性とデータ欠損

本研究において集計した、地理行列を表 - 1 に示した。表 - 1 から、各自治体が公表するデータは被害項目の統一性に欠けており、それゆえに、地理行列は欠損の多い疎なものにならざるをえないことがわかる。この欠損に対処するために、欠損部分の空間内挿が必要であると判断した。

(2) 欠損値の推定結果

欠損値の空間内挿を行う前と行った後のデータを用いて、被害状況に関する主題図の作成を行った(図 - 2 および図 - 3)。読図能力の個人差によって発生する認識の不一致を回避するうえで、空間内挿処理が効果的であることがうかがえる。なお、各図の左部分に見られる斜線の面域は、データ欠損部であることを意味している。

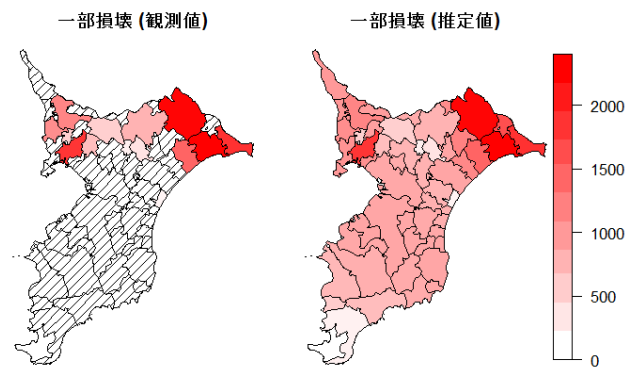


図-2 建物一部損壊の観測値(左)と推定値(右)。

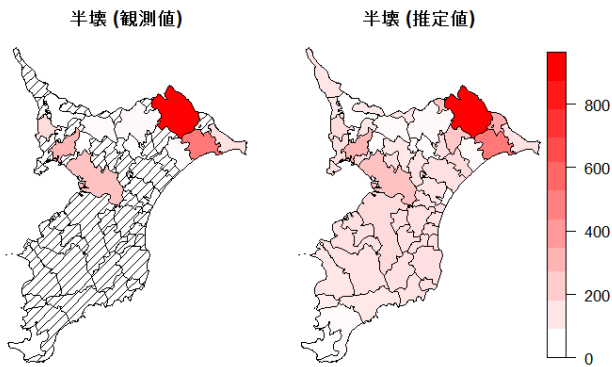


図 - 3 建物半壊の観測値（左）と推定値（右）

（３）推定手法の妥当性の検証結果

図 - 4 より，新たな空間重み行列 W^* を用いて空間内挿を行ったほうが，既往の一般化重み行列 W を用いた場合よりも推定性能が高いことがわかる．この傾向は，全ての被害項目に関して共通している．なお，欠損部分の多かった被害項目（例えば，行方不明など）については，既往の一般化重み行列 W を用いた場合には，式（３）の分母が 0 となり，推定不可能となるテスト点もあった．一方，新たな空間重み行列 W^* を用いた場合には，全てのテスト点において推定可能であった．このことから，新たな空間重み行列 W^* を用いた空間内挿手法のほうが優れていると判断できる．

4. まとめ

千葉県内の 54 市町村が公表している，東日本大震災に関連する被災状況データを収集した．その結果，各自治体の公表データの被害項目には，必ずしも統一性がなく，欠損も多いことがわかった．このことは，GIS を用いてわかりやすい被災状況地図を作成するうえでの障害となった．この問題点を克服するために空間内挿処理を行い，よりわかりやすい地図の作成を試みた．その過程において，本研究では，空間依存性の表現手法としてこれまでに提案されている一般化重み行列 W の問題点を指摘し，新たな空間重み行列 W^* を提案した．さらに，新たな空間重み行列 W^* と既往の一般化重み行列 W のそれぞれによる推定結果の妥当性を検討するために，Leave-one-out 法に基づく交差確認を行った．その結果，新たな空間重み行列 W^* を用いた場合のほうが，全ての被害項目において推定性能が向上することがわかった．

新しく定義した空間重み行列 W^* は，面域間の幾何重心距離に基づく重み行列 W_D と共有境界線長に基づく重み行列 W_L から定義したものであるが，それぞれの重み行列の値と被害状況の類似度との間に，どのような関係があるのかは，まだ十分に検討していない．これについては，今後，慎重に検討していきたい．ま

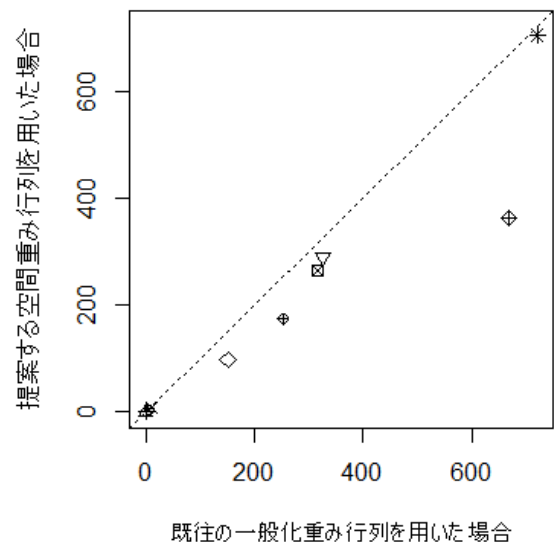


図 - 4 RMSE に基づく推定性能評価結果．縦軸は新たな空間重み行列を用いて空間内挿を行った場合，横軸は既往の一般化重み行列を用いた場合の RMSE である．シンボルの違いは，被害項目の違いを表す．

た，被害件数 y_i を推定するうえで，今回は，面域間の空間的な関係性だけに着目したが，（１）面域毎の自然環境や社会経済状況の違い，および（２）異なる被害項目間の相関関係，などを考慮することも有効であると考えられる．これらについても，今後の検討課題としたい．さらに，推定性能を改善するためには，欠損様式を考慮した解析が重要であるとの指摘⁸⁾もある．今後，これらの積み残し課題について検討を進めたい．

参考文献

- 1) 村井 俊治：空間情報工学，日本測量学会，pp.104-108，1999 年．
- 2) 平田 更一：EMT から協議会へ-東日本大震災における GIS プロジェクトの活動-，THE JOURNAL OF SURVEY 測量 6 月号，26-27，2011 年．
- 3) Roger S. Bivand, Edzer J. Pebesma, Virgilio Gomez-rubio：Applied spatial data analysis with R，Springer，2009 年
- 4) 張 長平：地理情報システムを用いた空間データ分析，(株)古今書院，pp.104-106，2009 年．
- 5) 国土地理院：〈<http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>〉（入手 2012.1.20）
- 6) 野上 道男・杉浦 芳夫：パソコンによる数理地理学演習，(株)古今書院，1986 年．
- 7) 下平 英寿・伊藤 秀一・久保川 達也・竹内 啓：統計科学のフロンティア モデル選択，(株)岩波書店，pp.45-47，2004 年．
- 8) 岩崎 学：統計学大系シリーズ 不完全データの統計解析，(株)エコノミスト社，pp.11-23，2004 年．