

## 第3章 事例に基づくリスクモデルの構築

### 3.1 リスクモデルの構築方針

#### 3.1.1 リスクモデルの構築方針

##### (1) 第2章に基づく方針

第2章のとおり、津波火災のリスクの大きさはガレキ堆積状況によって異なると考えられる。

津波火災のリスクの大きさは、特に2.2に示したガレキ堆積状況の分類ごとに異なるものと考えられる。このため、津波火災のリスクの大きさをガレキ堆積状況に応じて予測するモデルを構築することが理想となる。しかし、ガレキ堆積状況を精度よく予測することが現状では難しい。また、ガレキ堆積状況は浸水範囲の中で連続的に変化しており、2.1.2の分析対象地区をガレキ堆積状況ごとに細分化することも難しい。

そこで、本研究では津波火災のリスクの大きさを2.1.2の分析対象地区単位（以下地区単位）で予測する回帰モデルの構築を目指す。2.1.3のとおり、女川地区から北側の三陸海岸（以下三陸）と石巻東地区から南側の大規模な平野部（以下平野）では津波火災のリスクの大きさが異なっていたと考えられるため、分析対象地区をこの2つに区別し、それぞれの分類ごとに回帰モデルの構築を目指す。

##### (2) 構築するリスクモデルの種類と位置づけ

津波火災の延焼面積を予測することができれば、さらに建物棟数などを乗じることで被害棟数などを予測することができるので、津波火災のリスクの大きさとして津波火災の延焼面積を予測する回帰モデルを構築することを目指す。

また、津波火災の延焼面積を地区単位に予測する回帰モデルは、まず津波火災の発生確率を考え、次に津波火災が発生した場合の延焼面積を考える2段階の回帰モデル（ゼロ強調モデル、Zero-inflated model）とする。これは、図2.2.3の山際の東西に象徴されるように、ガレキ堆積状況の似た場所でも津波火災の発生は確率的で、津波火災の発生しなかった地区でも津波火災の発生確率は必ずしも小さくなかったと考えられることを踏まえてのものである。

なお、地区単位の津波火災のリスクの大きさを津波火災の発生地点の数（発生件数）で予測する回帰モデルを構築することも考えられるので、発生確率を予測する回帰モデルの参考として示す。参考扱いとするのは、①津波火災の発生地点が近い範囲で複数ある場合、延焼範囲としてはひとつになるため、発生地点の数を被害の予測に結び付けることが難しい、②津波火災の発生地点としてのポテンシャルはあっても、それが明らかになる前に延焼した場合の暗数の取り扱いが難しいためである。

また、同じ地区の中であっても、ガレキ堆積状況や津波火災のリスクの大きさは一様でない。そこで、地区単位で見て津波火災の発生する場合に、その地区の中で津波火災のリ

スクの大きい場所をメッシュ単位の延焼確率として予測する回帰モデルも参考として示す。参考扱いとするのは、隣り合うメッシュへの延焼を考慮しなかったためである。

以上の回帰モデルを、3.3 で次の順に示す。

- 3.3.1 発生確率（地区単位）
- 3.3.2 発生件数（地区単位）
- 3.3.3 延焼面積（地区単位）
- 3.3.4 延焼確率（メッシュ単位）

### (3) 説明変数の候補

#### 1) 地区単位の回帰モデル

回帰モデルの説明変数の候補として、ガレキの発生源となる建物の数などガレキ堆積状況と関係すると考えられるもののうち、取り扱いの簡単な表 3.1.2～表 3.1.4 のものを考える。分析対象地区の数は、三陸で 23 地区、平野で 15 地区と限られるため、説明変数の候補の組合せは最大で 2 まで考える。ただし、線形従属な組合せは除く。

なお、図 2.2.1 と図 2.2.4 のように、分析対象地区内のガレキの量が同じであっても、その面積の大きさによって、ガレキ堆積状況や津波火災のリスクの大きさは異なると考えられるため、説明変数の候補として表 3.1.4 も考えた。また、アイデアとしてガス供給方法の違いも説明変数とすることが考えられるが、分析対象地区の津波火災の発生有無（表 2.1.1）と都市ガスの供給域<sup>20)</sup>か否かを見比べても津波火災との関係が不明瞭なので、本研究では説明変数の候補としなかった。

#### 2) メッシュ単位の回帰モデル

回帰モデルの説明変数の候補として、ガレキの発生源となる建物の数などガレキ堆積状況と関係すると考えられるもののうち、取り扱いの簡単な表 3.1.2～表 3.1.3 のものを考える。ただし、個々の建物の流失の状況を精度よく予測することが現状では難しいため、流失の状況別の建物の数は説明変数の候補から除く。

### 3.1.2 本研究で用いる記号・略称（表 3.1.1～表 3.1.7）

表 3.1.1 津波火災に関する記号

記号	単位	意味・解説	目的変数	
			地区 単位	メッシュ 単位
$Bf$	[0,1]	津波火災の発生有無 <sup>(注)</sup>	○	○
$Nf$	[件]	津波火災の発生件数（延焼範囲内の炎上出火点の数）	○	-
$Af$	[m <sup>2</sup> ]	津波火災の延焼面積	○	-

(注) $Bf$ を確率変数とみなした場合の  $E[Bf]$  を地区単位では発生確率、メッシュ単位では延焼確率と呼ぶ。

表 3.1.2 津波浸水域の建物棟数に関する記号

記号	単位	意味・解説	説明変数	
			地区 単位	メッシュ 単位
$NH1$	[棟]	東北地方太平洋沖地震の前にあった津波浸水域内の建物の数	○	○
$NH2$	[棟]	東北地方太平洋沖地震の津波による流失を免れた津波浸水域内の建物の数	○	-
$(NH1-NH2)$	[棟]	東北地方太平洋沖地震の津波により流失した津波浸水域内の建物の数	○	-

表 3.1.3 津波浸水域に関する記号

記号	単位	意味・解説	説明変数	
			地区 単位	メッシュ 単位
$Aw$	[m <sup>2</sup> ]	浸水面積	○	-
$Dw$	[m]	最大浸水深の平均値	○	○
$SL$	[度]	地表の傾斜度	-	○
$Be$	[0,1]	山際のメッシュか否か	-	○

表 3.1.4 津波浸水域の建物棟数と  $Aw$  との相互作用項の記号

記号	単位	意味・解説	説明変数	
			地区 単位	メッシュ 単位
$NH1/Aw$	[棟/m <sup>2</sup> ]	津波浸水域内の $NH1$ の密度	○	-
$NH2/Aw$	[棟/m <sup>2</sup> ]	津波浸水域内の $NH2$ の密度	○	-
$(NH1-NH2)/Aw$	[棟/m <sup>2</sup> ]	津波浸水域内の $(NH1-NH2)$ の密度 <sup>(注)</sup>	○	-

(注)建物1棟から発生するガレキの体積[m<sup>3</sup>/棟]を乗じることで、発生するガレキの平均的な高さ[m]に換算して考えることも可能。ただし、堆積するガレキの平均的な高さとの違いに留意のこと。

表 3.1.5 回帰分析に関する記号

記号	意味・解説
$bx$	線形予測子、 $b=(b_0,b_1,b_2,\dots)$ 、 $x=(1,x_1,x_2,\dots)$ 、 $bx = b_0 + b_1 \times x_1 + b_2 \times x_2 + \dots$
$b_0, b_1, b_2, \dots$	偏回帰係数、ただし $b_0$ は定数項。
$x_1, x_2, \dots$	説明変数
$E[]$	確率変数の期待値
$P()$	確率
$f(x)$	連続型確率変数 $X$ の確率密度関数

表 3.1.6 津波浸水域の建物棟数に関する略称

略称	意味・解説
流失扱い 焼失扱い 被害関数	津波火災の延焼範囲内の建物については、延焼する前の状況がよく分からない。そこで、延焼範囲内の建物の延焼前の状況の推定方法として、 ①延焼前にすべて流失していたと考える方法 ②延焼前はすべて流失を免れたと考える方法 ③被害関数 <sup>(注)</sup> から推定する方法 の3つを考え、それぞれの方法で $NH2$ と $(NH1-NH2)$ を推定した。 ここでは①を流失扱い、②を焼失扱い、③を被害関数と呼ぶ。

(注)国土交通省都市局「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」による、メッシュ別の最大浸水深と建物被災状況（流失もしくは再使用不能となる建物の割合）の市町村ごとの関係<sup>21)</sup>を用いた。

表 3.1.7 回帰分析に関する略称

略称	意味・解説
GLM <sup>22)</sup>	一般化線形モデル (Generalized Linear Model)
AIC <sup>22,23)</sup>	赤池情報量規準 (Akaike's Information Criterion) モデル選択の指標のひとつ。値が小さいほど、良いことを意味する。
PB法 <sup>22)</sup>	パラメトリックブートストラップ法 (Parametric Bootstrap Method) 偏回帰係数などパラメータの定まったモデルに従う乱数列を生成して、元々の標本列を再標本化し、この再標本列の集合を用いて統計的検定を行う方法。

### 3.1.3 本研究で用いるデータの出典

第3章では表3.1.8のデータを編集・加工して利用した。

表 3.1.8 本研究で用いるデータの出典（編集・加工元）

データ・情報		出典（編集・加工元）
津波火災	<i>Bf</i>	日本火災学会、東日本大震災調査報告書（速報版） <sup>1)</sup>
	<i>Nf</i>	同上
	<i>Af</i>	同上
津波浸水域の建物棟数 <sup>(注)</sup>	<i>NH1</i>	三井造船システム技研株式会社、ゼンリン製住宅地図、2008～2010年時点(時点は市区町村による)
	<i>NH2</i>	三井造船システム技研株式会社、ゼンリン製住宅地図、2012～2013年時点(時点は市区町村による)
津波浸水域	<i>Aw</i>	日本火災学会、東日本大震災調査報告書（速報版） <sup>1)</sup>
	<i>Dw</i>	国土交通省都市局、東日本大震災津波被災市街地復興支援調査 <sup>19)</sup>
	<i>SL</i>	国土交通省国土地理院、基盤地図情報 <sup>18)</sup>
	<i>Be</i>	国土交通省国土地理院、航空写真 <sup>16)</sup>

(注)津波浸水域内の建物棟数を数える上で、住宅地図より無壁舎を除いて取り扱った。ただし、沿岸部のタンク等のポリゴンは除いていない。