

### 3.3 リスクモデルの構築

#### 3.3.1 発生確率（地区単位）

##### (1) 回帰分析

##### 1) 分析方法

地区単位のデータの  $Bf$  を目的変数として、統計解析ソフト R 3.0.1 の  $\text{glm}()$  を用いて分析した。リンク関数、確率分布は次のとおり設定した。

##### ① リンク関数

$Bf$  の期待値の取りうる値は 0 以上 1 以下なので、 $Bf$  の期待値と線形予測子との関係を表現するリンク関数については、(3.3.1) の  $\text{logit}$  を設定した。つまり、式変形により、 $Bf$  の期待値は(3.3.2) のロジスティック関数により表現できると設定した。

$$\ln\left(\frac{E[Bf]}{1-E[Bf]}\right) = bx \quad (3.3.1)$$

$$E[Bf] = \frac{1}{1+e^{-bx}} \quad (3.3.2)$$

##### ② 確率分布

$Bf$  の取りうる値は 0 か 1 のいずれかであるため、その確率分布としてベルヌーイ分布を設定した ( $P[Bf=1]=E[Bf]$ 、 $P[Bf=0]=1-E[Bf]$ )。

##### 2) 分析結果

##### ① 三陸（表 3.3.1）

説明変数を考えない No.21 と比べて、 $NHI/Aw$  もしくは  $(NHI-NH2)/Aw$  を説明変数とした No.9 もしくは No.11 は、AIC が改善した。さらに、No.9 もしくは No.11 と比べて、これらに  $Dw$  を説明変数として追加した No.15、No.17 は AIC が改善した。また、No.15 の AIC よりも No.17 の AIC のほうが若干良い。そこで、以降 No.17 について詳しく見る。

逆に、 $NHI$  や  $NH2$ 、 $(NHI-NH2)$ 、 $Aw$  については AIC の改善にほとんど寄与しなかった。

なお、No.21 の AIC と No.11 の AIC の差、No.11 の AIC と No.17 の AIC の差の有意性を PB 法により確認した。具体的には、 $Bf$  が No.21 や No.11 に従うと仮定して各地区の  $Bf$  の値を乱数から生成する試行を 1000 回行い（乱数の初期 Seed は 1）、それぞれが信頼水準 95% で有意であることを確認した（図 3.3.1）。

##### ② 平野（表 3.3.2）

説明変数を考えない No.21 と比べて、AIC が有意に改善したと言える回帰モデルはない。

表 3.3.1 回帰分析結果 (Bf、地区単位、三陸)

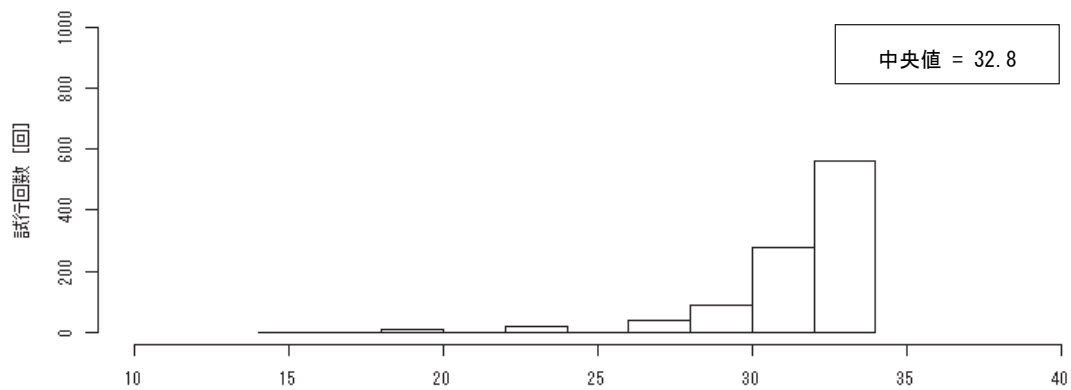
No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数											
	No.	線形予測子	b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC		b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC		b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC	
			係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値
1	NH1	NH2	-4.4E-1	0.5	4.4E-4	0.3	-1.8E-3	0.3	35.4	-4.7E-1	0.5	-1.5E-5	1.0	9.9E-5	0.9	36.8	-4.6E-1	0.5	1.7E-4	0.7	-6.0E-4	0.7	36.6			
2	NH1	-	-4.7E-1	0.5	1.4E-5	1.0	-	34.8	-4.7E-1	0.5	1.4E-5	1.0	-	34.8	-4.7E-1	0.5	1.4E-5	1.0	-	-	-	34.8				
3	NH2	-	-1.8E-1	0.8	-5.7E-4	0.5	-	34.4	-4.8E-1	0.4	6.5E-5	0.9	-	34.8	-3.5E-1	0.6	-1.8E-4	0.8	-	-	-	34.7				
4	NH1-NH2	-	-6.0E-1	0.3	1.1E-4	0.7	-	34.7	-4.5E-1	0.5	9.6E-6	1.0	-	34.8	-5.2E-1	0.4	5.9E-5	0.9	-	-	-	34.8				
5	NH1	Dw	1.3E+0	0.3	1.1E-4	0.7	-3.4E-1	0.1	34.1	1.3E+0	0.3	1.1E-4	0.7	-3.4E-1	0.1	34.1	1.3E+0	0.3	1.1E-4	0.7	-3.4E-1	0.1	34.1			
6	NH2	Dw	1.8E+0	0.2	-7.2E-4	0.5	-3.3E-1	0.1	33.6	1.4E+0	0.3	-9.0E-5	0.9	-3.2E-1	0.1	34.2	1.6E+0	0.2	-3.4E-4	0.7	-3.3E-1	0.1	34.0			
7	NH1-NH2	Dw	1.3E+0	0.3	3.5E-4	0.4	-3.9E-1	0.1	33.4	1.3E+0	0.3	2.5E-4	0.5	-3.7E-1	0.1	33.8	1.3E+0	0.3	3.0E-4	0.5	-3.8E-1	0.1	33.7			
8	NH1/Aw	NH2/Aw	-4.7E+0	0.0	3.8E+3	0.0	-3.1E+3	0.5	23.8	-5.1E+0	0.0	3.4E+3	0.0	-1.1E+2	1.0	24.4	-5.0E+0	0.0	3.7E+3	0.0	-1.5E+3	0.7	24.3			
9	NH1/Aw	-	-5.1E+0	0.0	3.3E+3	0.0	-	22.4	-5.1E+0	0.0	3.3E+3	0.0	-	22.4	-5.1E+0	0.0	3.3E+3	0.0	-	-	-	22.4				
10	NH2/Aw	-	-1.4E+0	0.1	2.8E+3	0.3	-	33.4	-2.4E+0	0.0	5.0E+3	0.1	-	29.0	-1.9E+0	0.1	4.1E+3	0.1	-	-	-	30.8				
11	(NH1-NH2)/Aw	-	-4.6E+0	0.0	3.9E+3	0.0	-	21.9	-4.5E+0	0.0	4.1E+3	0.0	-	24.1	-4.6E+0	0.0	4.1E+3	0.0	-	-	-	22.8				
12	NH1/Aw	Aw	-4.6E+0	0.0	3.2E+3	0.0	-2.5E-7	0.7	24.2	-4.6E+0	0.0	3.2E+3	0.0	-2.5E-7	0.7	24.2	-4.6E+0	0.0	3.2E+3	0.0	-2.5E-7	0.7	24.2			
13	NH2/Aw	Aw	-7.1E-1	0.5	3.2E+3	0.3	-5.6E-7	0.2	33.4	-1.8E+0	0.2	5.6E+3	0.1	-6.0E-7	0.3	29.3	-1.4E+0	0.3	4.7E+3	0.1	-5.7E-7	0.3	31.1			
14	(NH1-NH2)/Aw	Aw	-4.3E+0	0.0	3.8E+3	0.0	-1.5E-7	0.8	23.8	-4.1E+0	0.0	3.9E+3	0.0	-1.8E-7	0.7	25.9	-4.3E+0	0.0	3.9E+3	0.0	-1.6E-7	0.7	24.6			
15	NH1/Aw	Dw	-3.9E+0	0.1	5.1E+3	0.0	-6.8E-1	0.1	19.5	-3.9E+0	0.1	5.1E+3	0.0	-6.8E-1	0.1	19.5	-3.9E+0	0.1	5.1E+3	0.0	-6.8E-1	0.1	19.5			
16	NH2/Aw	Dw	6.6E-1	0.7	1.3E+3	0.6	-2.7E-1	0.3	34.0	-1.1E+0	0.6	4.4E+3	0.1	-1.9E-1	0.4	30.4	-5.2E-1	0.8	3.3E+3	0.2	-2.0E-1	0.4	32.1			
17	(NH1-NH2)/Aw	Dw	-2.9E+0	0.2	7.4E+3	0.0	-1.0E+0	0.0	15.9	-2.7E+0	0.2	7.8E+3	0.0	-1.1E+0	0.0	17.4	-2.9E+0	0.2	7.7E+3	0.0	-1.1E+0	0.0	16.5			
18	Aw	Dw	1.6E+0	0.2	-4.0E-7	0.4	-2.6E-1	0.2	33.2	1.6E+0	0.2	-4.0E-7	0.4	-2.6E-1	0.2	33.2	1.6E+0	0.2	-4.0E-7	0.4	-2.6E-1	0.2	33.2			
19	Aw	-	2.5E-1	0.7	-4.9E-7	0.3	-	32.8	2.5E-1	0.7	-4.9E-7	0.3	-	32.8	2.5E-1	0.7	-4.9E-7	0.3	-	-	-	32.8				
20	Dw	-	1.4E+0	0.3	-3.2E-1	0.1	-	32.2	1.4E+0	0.3	-3.2E-1	0.1	-	32.2	1.4E+0	0.3	-3.2E-1	0.1	-	-	-	32.2				
21	-	-	-4.4E-1	0.3	-	-	-	32.8	-4.4E-1	0.3	-	-	-	32.8	-4.4E-1	0.3	-	-	-	-	-	32.8				

※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。

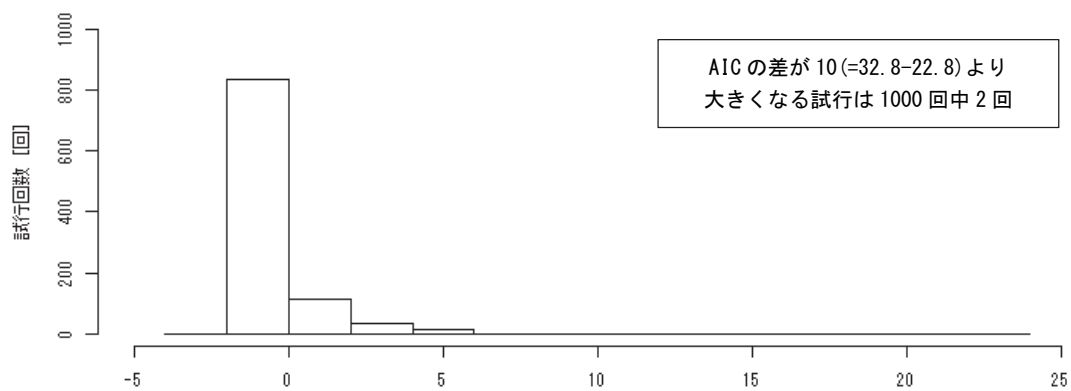
表 3.3.2 回帰分析結果 (Bf、地区単位、平野)

No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数															
	$b_0+b_1*x_1+b_2*x_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC					
	$x_1$	$x_2$	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値		
1	NH1	NH2	-2.3E+0	0.0	2.2E-4	0.7	-1.3E-4	0.9	18.6	-2.3E+0	0.0	1.6E-4	0.8	-5.3E-5	0.9	18.6	-2.3E+0	0.0	1.9E-4	0.7	-8.6E-5	0.9	18.6	-2.3E+0	0.0	1.9E-4	0.7	-8.6E-5	0.9	18.6
2	NH1	-	-2.2E+0	0.0	1.2E-4	0.2	-	16.6	-2.2E+0	0.0	1.2E-4	0.2	-	-	16.6	-2.2E+0	0.0	1.2E-4	0.2	-	-	-	16.6	-2.2E+0	0.0	1.2E-4	0.2	-	-	16.6
3	NH2	-	-2.1E+0	0.0	1.5E-4	0.2	-	16.7	-2.1E+0	0.0	1.5E-4	0.2	-	-	16.7	-2.1E+0	0.0	1.5E-4	0.2	-	-	-	16.7	-2.1E+0	0.0	1.5E-4	0.2	-	-	16.7
4	NH1-NH2	-	-2.4E+0	0.0	4.5E-4	0.2	-	16.8	-2.4E+0	0.0	4.4E-4	0.2	-	-	17.0	-2.4E+0	0.0	4.4E-4	0.2	-	-	-	16.9	-2.4E+0	0.0	4.4E-4	0.2	-	-	16.9
5	NH1	Dw	-2.6E+0	0.3	1.2E-4	0.2	1.2E-1	0.9	18.6	-2.6E+0	0.3	1.2E-4	0.2	1.2E-1	0.9	18.6	-2.6E+0	0.3	1.2E-4	0.2	1.2E-1	0.9	18.6	-2.6E+0	0.3	1.2E-4	0.2	1.2E-1	0.9	18.6
6	NH2	Dw	-2.6E+0	0.3	1.6E-4	0.2	1.9E-1	0.8	18.7	-2.6E+0	0.3	1.6E-4	0.2	1.9E-1	0.8	18.6	-2.6E+0	0.3	1.6E-4	0.2	1.9E-1	0.8	18.7	-2.6E+0	0.3	1.6E-4	0.2	1.9E-1	0.8	18.7
7	NH1-NH2	Dw	-2.1E+0	0.4	4.5E-4	0.2	-1.3E-1	0.9	18.8	-2.1E+0	0.4	4.4E-4	0.2	-1.4E-1	0.9	19.0	-2.1E+0	0.4	4.4E-4	0.2	-1.3E-1	0.9	18.9	-2.1E+0	0.4	4.4E-4	0.2	-1.3E-1	0.9	18.9
8	NH1/Aw	NH2/Aw	-2.1E+0	0.1	2.1E+3	0.6	-1.8E+3	0.7	20.4	-2.1E+0	0.1	1.7E+3	0.6	-1.3E+3	0.8	20.5	-2.1E+0	0.1	1.9E+3	0.6	-1.5E+3	0.7	20.4	-2.1E+0	0.1	1.9E+3	0.6	-1.5E+3	0.7	20.4
9	NH1/Aw	-	-1.9E+0	0.1	6.8E+2	0.5	-	18.6	-1.9E+0	0.1	6.8E+2	0.5	-	-	18.6	-1.9E+0	0.1	6.8E+2	0.5	-	-	-	18.6	-1.9E+0	0.1	6.8E+2	0.5	-	-	18.6
10	NH2/Aw	-	-1.7E+0	0.1	6.5E+2	0.6	-	18.7	-1.7E+0	0.1	6.8E+2	0.6	-	-	18.7	-1.7E+0	0.1	6.6E+2	0.6	-	-	-	18.7	-1.7E+0	0.1	6.6E+2	0.6	-	-	18.7
11	(NH1-NH2)/Aw	-	-2.0E+0	0.1	2.4E+3	0.5	-	18.5	-2.0E+0	0.1	2.2E+3	0.5	-	-	18.6	-2.0E+0	0.1	2.3E+3	0.5	-	-	-	18.5	-2.0E+0	0.1	2.3E+3	0.5	-	-	18.5
12	NH1/Aw	Aw	-2.2E+0	0.2	7.6E+2	0.5	2.3E-8	0.8	20.5	-2.2E+0	0.2	7.6E+2	0.5	2.3E-8	0.8	20.5	-2.2E+0	0.2	7.6E+2	0.5	2.3E-8	0.8	20.5	-2.2E+0	0.2	7.6E+2	0.5	2.3E-8	0.8	20.5
13	NH2/Aw	Aw	-1.9E+0	0.2	7.1E+2	0.6	1.6E-8	0.9	20.7	-1.9E+0	0.2	7.4E+2	0.6	1.7E-8	0.9	20.7	-1.9E+0	0.2	7.3E+2	0.6	1.6E-8	0.9	20.7	-1.9E+0	0.2	7.3E+2	0.6	1.6E-8	0.9	20.7
14	(NH1-NH2)/Aw	Aw	-2.4E+0	0.2	2.8E+3	0.4	3.0E-8	0.8	20.4	-2.3E+0	0.2	2.5E+3	0.5	2.7E-8	0.8	20.5	-2.4E+0	0.2	2.7E+3	0.4	2.8E-8	0.8	20.4	-2.4E+0	0.2	2.7E+3	0.4	2.8E-8	0.8	20.4
15	NH1/Aw	Dw	-2.5E+0	0.4	8.2E+2	0.5	1.8E-1	0.8	20.5	-2.5E+0	0.4	8.2E+2	0.5	1.8E-1	0.8	20.5	-2.5E+0	0.4	8.2E+2	0.5	1.8E-1	0.8	20.5	-2.5E+0	0.4	8.2E+2	0.5	1.8E-1	0.8	20.5
16	NH2/Aw	Dw	-2.5E+0	0.5	9.3E+2	0.6	2.4E-1	0.8	20.7	-2.6E+0	0.4	9.8E+2	0.6	2.7E-1	0.8	20.6	-2.5E+0	0.4	9.6E+2	0.6	2.6E-1	0.8	20.7	-2.5E+0	0.4	9.6E+2	0.6	2.6E-1	0.8	20.7
17	(NH1-NH2)/Aw	Dw	-1.6E+0	0.5	2.5E+3	0.4	-1.9E-1	0.8	20.4	-1.5E+0	0.5	2.3E+3	0.5	-1.8E-1	0.8	20.5	-1.5E+0	0.5	2.4E+3	0.5	-1.9E-1	0.8	20.4	-1.5E+0	0.5	2.4E+3	0.5	-1.9E-1	0.8	20.4
18	Aw	Dw	-1.1E+0	0.6	2.2E-9	1.0	-1.3E-1	0.9	21.0	-1.1E+0	0.6	2.2E-9	1.0	-1.3E-1	0.9	21.0	-1.1E+0	0.6	2.2E-9	1.0	-1.3E-1	0.9	21.0	-1.1E+0	0.6	2.2E-9	1.0	-1.3E-1	0.9	21.0
19	Aw	-	-1.4E+0	0.2	2.1E-9	1.0	-	19.0	-1.4E+0	0.2	2.1E-9	1.0	-	-	19.0	-1.4E+0	0.2	2.1E-9	1.0	-	-	-	19.0	-1.4E+0	0.2	2.1E-9	1.0	-	-	19.0
20	Dw	-	-1.1E+0	0.6	-1.3E-1	0.9	-	19.0	-1.1E+0	0.6	-1.3E-1	0.9	-	-	19.0	-1.1E+0	0.6	-1.3E-1	0.9	-	-	-	19.0	-1.1E+0	0.6	-1.3E-1	0.9	-	-	19.0
21	-	-	-1.4E+0	0.0	-	-	-	17.0	-1.4E+0	0.0	-	-	-	-	17.0	-1.4E+0	0.0	-	-	-	-	-	17.0	-1.4E+0	0.0	-	-	-	17.0	

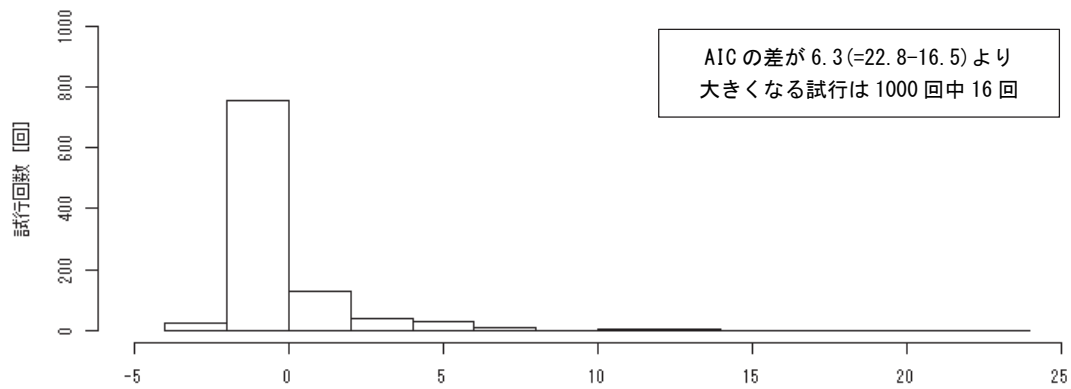
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。



(a) 「No.21 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.21}$  )



(b) 「No.21 の AIC - No.11 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.21}$  )



(c) 「No.11 の AIC - No.17 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.11}$  )

図 3.3.1 PB 法により生成した  $Bf$  に対する AIC の分布 (地区単位、三陸、被害関数)

(2) No.17 (三陸)

1) 偏回帰係数、標準誤差 (指数表示小数点以下3桁)

表 3.3.3 No.17の偏回帰係数 ( $B_f$ 、地区単位、三陸)

		推定値	標準誤差	P値
流失扱い	定数項	-2.850E+00	2.215E+00	0.20
	(NH1-NH2)/Aw	7.444E+03	3.204E+03	0.02
	Dw	-1.038E+00	4.892E-01	0.03
焼失扱い	定数項	-2.731E+00	2.132E+00	0.20
	(NH1-NH2)/Aw	7.816E+03	3.257E+03	0.02
	Dw	-1.080E+00	5.036E-01	0.03
被害関数	定数項	-2.858E+00	2.188E+00	0.19
	(NH1-NH2)/Aw	7.726E+03	3.254E+03	0.02
	Dw	-1.070E+00	5.014E-01	0.03

2) データへの当てはまりの良さ (例：被害関数)

志津川以外の22地区について  $B_f$  のデータ値が  $E[B_f]$  の95%信頼区間に収まる。志津川区についても  $E[B_f]$  は小さくないため、データへの当てはまりはおおむね良いと考えられる。

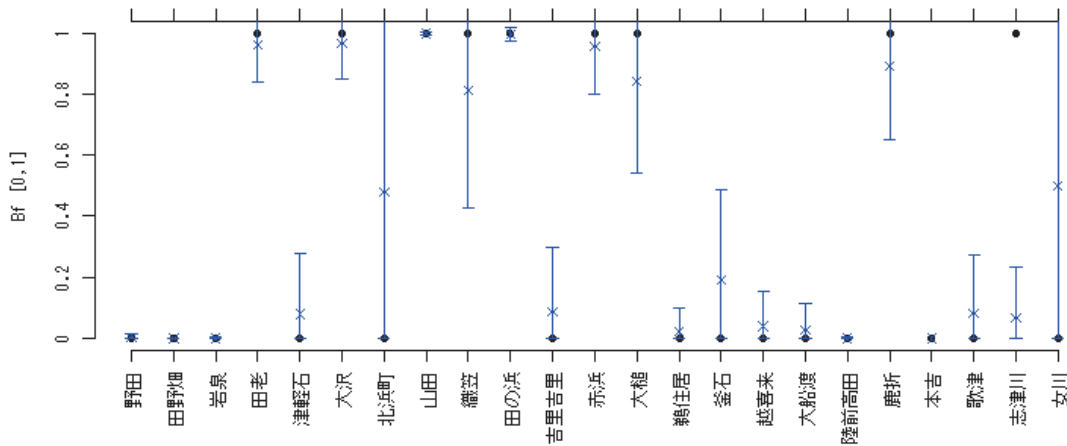


図 3.3.2 No.17のデータへの当てはまりの良さ ( $B_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(● : データ、× :  $E[B_f]$ 、棒 :  $E[B_f]$  の95%信頼区間)

### 3) 感度分析 (例: 被害関数)

No.17に様々な数値を代入して、 $E[B_f]$ の感度を分析した結果を表3.3.4に示す。表3.3.4の右上側のセルはほぼ0である一方で、左下側のセルはほぼ1になっており、最適モデルは津波火災の有無の判別に近い回帰モデルであることが分かる。

また、 $(NH1-NH2)/Aw$ が0で $Dw$ が0.1の場合、津波火災の発生確率は0に近いと考えられるが、No.17で計算した $E[B_f]$ は小さくないことが分かる。 $(NH1-NH2)/Aw$ や $Dw$ の値が小さく、外挿にあたる場合は、No.17の適用に特に注意を要する。

表 3.3.4 No.17の感度分析 ( $B_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

			Dw [m]						
			0.1	0.5	1	2	5	10	20
$(NH1-NH2)/Aw$ [棟/m <sup>2</sup> ]	0.0000	—	0.05	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	0.0002	(1棟/5000m <sup>2</sup> )	0.19	0.14	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00
	0.0005	(1棟/2000m <sup>2</sup> )	0.71	0.62	0.48	0.24	0.01	0.00	0.00
	0.0010	(1棟/1000m <sup>2</sup> )	0.99	0.99	0.98	0.94	0.38	0.00	0.00
	0.0020	(1棟/ 500m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.00
	0.0040	(1棟/ 250m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.0100	(1棟/ 100m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

※影の付いたセルは分析に用いたデータの内挿域の目安

### (3) 考察

#### ① No.17 (三陸) について

- ・ $(NH1-NH2)/Aw$ が有意な説明変数となることについて

偏回帰係数は正の値であり、第1章に前述した「津波火災のリスクはガレキの量と関係する」という考え方を、津波火災の発生確率の面で支持するものと解釈できる。

一方で、ガレキの絶対値に関する $(NH1-NH2)$ を説明変数としたNo.4やNo.7のAICは、相対値 $(NH1-NH2)/Aw$ だけを説明変数としたNo.11やこれに相対値 $Dw$ を追加したNo.17のAICよりも劣る。

津波来襲後、小規模な火災は至るところで発生していたことと考え合わせると、これらの火災が本研究で言う津波火災（建物間の延焼火災）に発展するかは、単位面積あたりのガレキの量によって指数関数的に左右されるものと考えられる。

なお、3.3.2に参考として示す発生件数を目的変数とした回帰モデルの検討からも同様のことが言え、この考察が支持される。

・  $Dw$  が有意な説明変数となることについて

偏回帰係数は負の値である。その理由については確定的に説明できないが、ガレキの海への流出しやすさの影響も考えられる。

## ② No.21 (平野) について

平野については、説明変数を考えない No.21 と比べて有意な回帰モデルを構築することができなかった。No.21 は、平野ではある確率 (3 地区/15 地区) のもとで津波火災がランダムに発生すると考える回帰モデルであるが、相馬地区以南の平野部で津波火災がほとんど発生していないことを考えると、No.21 自体も有意な回帰モデルとは言いがたい。

そこで、津波火災の発生する場合の延焼面積 (地区単位) や延焼確率 (メッシュ単位) の回帰モデルを検討する 3.3.3 や 3.3.4 では、三陸に限定して検討する。

### 3.3.2 発生件数（地区単位）

#### (1) 回帰分析

##### 1) 分析方法

地区単位のデータの  $Nf$  を目的変数として、統計解析ソフト R 3.0.1 の `glm()` を用いて分析した。リンク関数、確率分布は次のとおり設定した。

##### ① リンク関数

$Nf$  の期待値と線形予測子との関係を表現するリンク関数については、(3.3.3) の `log` を設定した。つまり、式変形により、 $Nf$  の期待値は(3.3.4)の指数関数により表現できると設定した。

なお、リンク関数として 3.3.3 で後述する(3.3.6)と同様の `identity` を設定する場合も検討したが、良い回帰モデルを求めることができなかったため、ここでは説明を省く。

$$\ln(E[Nf]) = \mathbf{bx} \quad (3.3.3)$$

$$E[Nf] = e^{\mathbf{bx}} \quad (3.3.4)$$

##### ② 確率分布

$Nf$  の取りうる値は、0 以上多くても数十程度の整数値と考えられるため、その確率分布としてポアソン分布を設定した。

$$P(Nf = k) = \frac{E[Nf]^k e^{-E[Nf]}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.3.5)$$

#### 2) 分析結果

##### ① 三陸（表 3.3.5）

3.3.1 とおおむね同様の分析結果となった。そこで、以降 No.17 について詳しく見る。

流失扱いの場合、AIC が最もよいのが No.9 となる点 (No.17 の AIC の差は小さい)、No.11 と No.17 の AIC の差が小さい点が 3.3.1 との主な違いとして挙げられる。

なお、No.21 の AIC と No.17 の AIC の差の有意性を PB 法により確認した。具体的には、 $Nf$  が No.21 に従うと仮定して各地区の  $Nf$  の値を乱数から生成する試行を 1000 回行い (乱数の初期 Seed は 1)、信頼水準 95% で有意であることを確認した (図 3.3.3)。

##### ② 平野（表 3.3.6）

3.3.1 と同様の分析結果となった。



表 3.3.5 回帰分析結果 (Nf、地区単位、三陸)

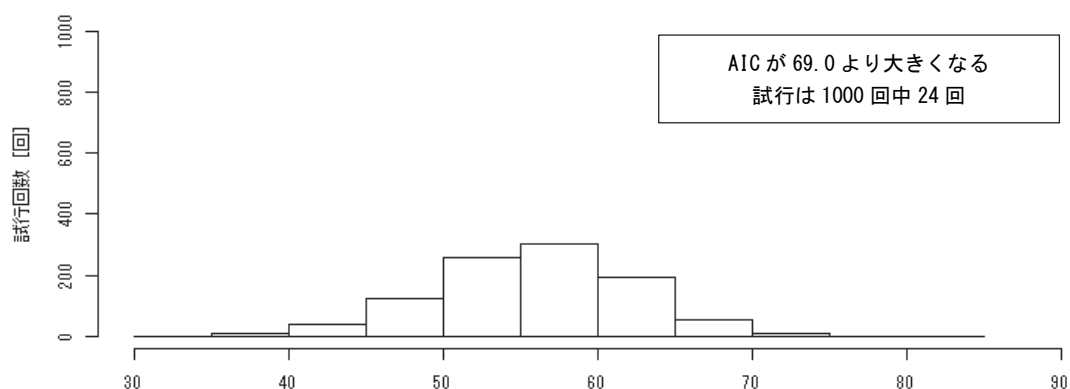
No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数													
	No.	係数	P値	b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC	係数	P値	b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC	係数	P値	b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC
				係数	P値	係数	P値	係数	P値				係数	P値	係数	P値	係数	P値				係数	P値	係数	P値	係数	P値	
1	NH1	NH2	-7.5E-1	0.1	3.6E-4	0.0	-4.3E-4	0.5	68.2	-7.7E-1	0.1	1.1E-4	0.6	4.8E-4	0.4	67.9	-7.6E-1	0.1	2.3E-4	0.2	8.1E-5	0.9	68.7					
2	NH1	-	-7.6E-1	0.1	2.5E-4	0.0	-	66.8	-7.6E-1	0.1	2.5E-4	0.0	-	-	66.8	-7.6E-1	0.1	2.5E-4	0.0	-	-	66.8						
3	NH2	-	-4.1E-1	0.2	4.0E-4	0.2	-	69.8	-6.8E-1	0.0	7.0E-4	0.0	-	-	66.1	-5.6E-1	0.1	5.8E-4	0.1	-	-	68.1						
4	NH1-NH2	-	-7.7E-1	0.0	3.4E-4	0.0	-	66.2	-6.1E-1	0.1	2.7E-4	0.1	-	-	68.2	-6.9E-1	0.1	3.1E-4	0.0	-	-	67.3						
5	NH1	Dw	3.2E-1	0.6	3.5E-4	0.0	-2.4E-1	0.1	64.6	3.2E-1	0.6	3.5E-4	0.0	-2.4E-1	0.1	64.6	3.2E-1	0.6	3.5E-4	0.0	-2.4E-1	0.1	64.6					
6	NH2	Dw	3.8E-1	0.6	3.8E-4	0.3	-1.4E-1	0.2	70.0	8.2E-2	0.9	6.8E-4	0.0	-1.4E-1	0.2	66.7	2.2E-1	0.7	5.6E-4	0.1	-1.4E-1	0.2	68.5					
7	NH1-NH2	Dw	5.6E-1	0.4	6.2E-4	0.0	-3.3E-1	0.0	61.7	6.2E-1	0.3	5.5E-4	0.0	-3.1E-1	0.0	64.7	6.1E-1	0.3	5.9E-4	0.0	-3.2E-1	0.0	63.2					
8	NH1/Aw	NH2/Aw	-2.3E+0	0.0	1.3E+3	0.0	-3.5E+2	0.8	56.4	-2.7E+0	0.0	1.7E+3	0.0	-7.3E+2	0.3	55.5	-2.6E+0	0.0	1.7E+3	0.0	-8.8E+2	0.3	55.5					
9	NH1/Aw	-	-2.3E+0	0.0	1.2E+3	0.0	-	54.5	-2.3E+0	0.0	1.2E+3	0.0	-	-	54.5	-2.3E+0	0.0	1.2E+3	0.0	-	-	54.5						
10	NH2/Aw	-	-1.2E+0	0.0	2.8E+3	0.0	-	64.7	-8.5E-1	0.0	1.3E+3	0.0	-	-	63.3	-9.1E-1	0.0	1.6E+3	0.0	-	-	64.0						
11	(NH1-NH2)/Aw	-	-2.1E+0	0.0	1.5E+3	0.0	-	55.2	-2.2E+0	0.0	1.8E+3	0.0	-	-	57.5	-2.4E+0	0.0	1.8E+3	0.0	-	-	55.2						
12	NH1/Aw	Aw	-2.8E+0	0.0	1.4E+3	0.0	1.8E-7	0.3	55.5	-2.8E+0	0.0	1.4E+3	0.0	1.8E-7	0.3	55.5	-2.8E+0	0.0	1.4E+3	0.0	1.8E-7	0.3	55.5					
13	NH2/Aw	Aw	-1.1E+0	0.1	2.8E+3	0.0	-8.0E-8	0.7	66.5	-8.4E-1	0.1	1.3E+3	0.0	-7.8E-9	1.0	65.3	-8.7E-1	0.1	1.6E+3	0.0	-2.1E-8	0.9	66.0					
14	(NH1-NH2)/Aw	Aw	-2.8E+0	0.0	1.7E+3	0.0	2.1E-7	0.2	55.9	-2.7E+0	0.0	2.0E+3	0.0	1.4E-7	0.4	58.8	-3.1E+0	0.0	2.1E+3	0.0	2.0E-7	0.2	56.0					
15	NH1/Aw	Dw	-1.8E+0	0.1	1.2E+3	0.0	-5.9E-2	0.6	56.2	-1.8E+0	0.1	1.2E+3	0.0	-5.9E-2	0.6	56.2	-1.8E+0	0.1	1.2E+3	0.0	-5.9E-2	0.6	56.2					
16	NH2/Aw	Dw	-1.1E+0	0.3	2.7E+3	0.0	-1.6E-2	0.9	66.7	-7.1E-1	0.4	1.2E+3	0.0	-2.2E-2	0.9	65.3	-7.6E-1	0.4	1.5E+3	0.0	-2.2E-2	0.9	66.0					
17	(NH1-NH2)/Aw	Dw	-1.4E+0	0.1	1.5E+3	0.0	-1.3E-1	0.2	55.3	-1.7E+0	0.0	2.7E+3	0.0	-3.1E-1	0.0	52.2	-1.7E+0	0.0	2.2E+3	0.0	-2.4E-1	0.0	52.0					
18	Aw	Dw	5.9E-1	0.3	-3.0E-8	0.9	-1.3E-1	0.2	71.1	5.9E-1	0.3	-3.0E-8	0.9	-1.3E-1	0.2	71.1	5.9E-1	0.3	-3.0E-8	0.9	-1.3E-1	0.2	71.1					
19	Aw	-	-4.6E-2	0.9	-9.6E-8	0.6	-	70.6	-4.6E-2	0.9	-9.6E-8	0.6	-	-	70.6	-4.6E-2	0.9	-9.6E-8	0.6	-	-	70.6						
20	Dw	-	5.8E-1	0.3	-1.4E-1	0.2	-	69.1	5.8E-1	0.3	-1.4E-1	0.2	-	-	69.1	5.8E-1	0.3	-1.4E-1	0.2	-	-	69.1						
21	-	-	-1.9E-1	0.4	-	-	-	69.0	-1.9E-1	0.4	-	-	-	-	69.0	-1.9E-1	0.4	-	-	-	-	69.0						

※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。

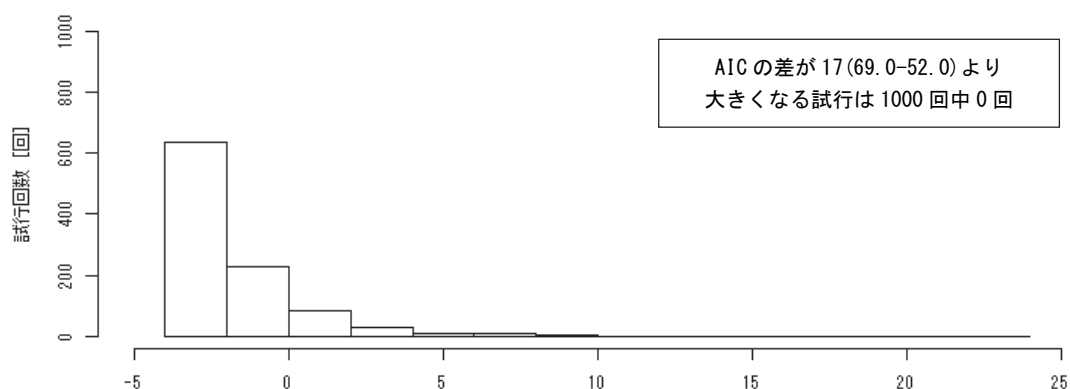
表 3.3.6 回帰分析結果 (Nf、地区単位、平野)

No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数												
	$b_0+b_1*x_1+b_2*x_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		
	$x_1$	$x_2$	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数
1	NH1	NH2	-2.0E+0	0.0	2.6E-4	0.4	-2.3E-4	0.6	25.6	-2.0E+0	0.0	2.3E-4	0.5	-1.8E-4	0.6	25.7	-2.0E+0	0.0	2.4E-4	0.4	2.4E+0	0.0	2.4E-4	0.4	-2.0E-4	0.6	25.6
2	NH1	-	-1.8E+0	0.0	8.0E-5	0.0	-	-	23.9	-1.8E+0	0.0	8.0E-5	0.0	-	-	23.9	-1.8E+0	0.0	8.0E-5	0.0	-	-	-	-	-	23.9	
3	NH2	-	-1.7E+0	0.0	9.6E-5	0.0	-	-	24.1	-1.7E+0	0.0	9.6E-5	0.0	-	-	24.1	-1.7E+0	0.0	9.6E-5	0.0	-	-	-	-	-	24.1	
4	NH1-NH2	-	-2.1E+0	0.0	3.6E-4	0.0	-	-	23.7	-2.1E+0	0.0	3.6E-4	0.0	-	-	23.9	-2.1E+0	0.0	3.6E-4	0.0	-	-	-	-	-	23.8	
5	NH1	Dw	-1.5E+0	0.4	7.7E-5	0.0	-1.2E-1	0.9	25.8	-1.5E+0	0.4	7.7E-5	0.0	-1.2E-1	0.9	25.8	-1.5E+0	0.4	7.7E-5	0.0	-1.2E-1	0.9	-1.2E-1	0.9	-	25.8	
6	NH2	Dw	-1.5E+0	0.4	9.4E-5	0.0	-8.5E-2	0.9	26.1	-1.5E+0	0.4	9.4E-5	0.0	-8.4E-2	0.9	26.1	-1.5E+0	0.4	9.4E-5	0.0	-8.5E-2	0.9	-8.5E-2	0.9	-	26.1	
7	NH1-NH2	Dw	-1.2E+0	0.5	3.5E-4	0.0	-3.7E-1	0.6	25.4	-1.1E+0	0.5	3.5E-4	0.0	-3.8E-1	0.6	25.6	-1.2E+0	0.5	3.5E-4	0.0	-3.7E-1	0.6	-3.7E-1	0.6	-	25.5	
8	NH1/Aw	NH2/Aw	-1.8E+0	0.0	1.8E+3	0.4	-1.4E+3	0.6	28.5	-1.8E+0	0.0	1.6E+3	0.5	-1.1E+3	0.7	28.6	-1.8E+0	0.0	1.7E+3	0.4	-1.3E+3	0.6	-1.3E+3	0.6	-	28.5	
9	NH1/Aw	-	-1.7E+0	0.0	6.9E+2	0.3	-	-	26.7	-1.7E+0	0.0	6.9E+2	0.3	-	-	26.7	-1.7E+0	0.0	6.9E+2	0.3	-	-	-	-	26.7		
10	NH2/Aw	-	-1.5E+0	0.0	6.7E+2	0.4	-	-	27.1	-1.5E+0	0.0	6.9E+2	0.4	-	-	27.1	-1.5E+0	0.0	6.8E+2	0.4	-	-	-	-	27.1		
11	(NH1-NH2)/Aw	-	-1.7E+0	0.0	2.2E+3	0.2	-	-	26.6	-1.7E+0	0.0	2.1E+3	0.3	-	-	26.8	-1.7E+0	0.0	2.1E+3	0.3	-	-	-	-	26.7		
12	NH1/Aw	Aw	-2.2E+0	0.1	7.9E+2	0.2	3.7E-8	0.5	28.4	-2.2E+0	0.1	7.9E+2	0.2	3.7E-8	0.5	28.4	-2.2E+0	0.1	7.9E+2	0.2	3.7E-8	0.5	3.7E-8	0.5	-	28.4	
13	NH2/Aw	Aw	-1.9E+0	0.1	7.9E+2	0.3	3.1E-8	0.6	28.8	-1.9E+0	0.1	8.1E+2	0.3	3.2E-8	0.6	28.8	-1.9E+0	0.1	8.0E+2	0.3	3.2E-8	0.6	3.2E-8	0.6	-	28.8	
14	(NH1-NH2)/Aw	Aw	-2.3E+0	0.1	2.6E+3	0.2	4.7E-8	0.5	28.1	-2.3E+0	0.1	2.5E+3	0.2	4.5E-8	0.5	28.3	-2.3E+0	0.1	2.6E+3	0.2	4.6E-8	0.5	4.6E-8	0.5	-	28.3	
15	NH1/Aw	Dw	-1.6E+0	0.4	6.8E+2	0.4	-1.7E-2	1.0	28.7	-1.6E+0	0.4	6.8E+2	0.4	-1.7E-2	1.0	28.7	-1.6E+0	0.4	6.8E+2	0.4	-1.7E-2	1.0	-1.7E-2	1.0	-	28.7	
16	NH2/Aw	Dw	-1.5E+0	0.5	6.7E+2	0.6	-6.3E-4	1.0	29.1	-1.6E+0	0.5	7.1E+2	0.5	2.0E-2	1.0	29.1	-1.5E+0	0.5	6.9E+2	0.5	2.0E-2	1.0	1.0E-2	1.0	-	29.1	
17	(NH1-NH2)/Aw	Dw	-8.6E-1	0.5	2.4E+3	0.2	-3.7E-1	0.5	28.1	-8.3E-1	0.6	2.2E+3	0.3	-3.6E-1	0.5	28.3	-8.4E-1	0.5	2.3E+3	0.2	-3.6E-1	0.5	-3.6E-1	0.5	-	28.2	
18	Aw	Dw	-5.2E-1	0.7	1.7E-8	0.8	-3.1E-1	0.6	29.4	-5.2E-1	0.7	1.7E-8	0.8	-3.1E-1	0.6	29.4	-5.2E-1	0.7	1.7E-8	0.8	-3.1E-1	0.6	-3.1E-1	0.6	-	29.4	
19	Aw	-	-1.3E+0	0.1	1.6E-8	0.8	-	-	27.7	-1.3E+0	0.1	1.6E-8	0.8	-	-	27.7	-1.3E+0	0.1	1.6E-8	0.8	-	-	-	-	27.7		
20	Dw	-	-3.9E-1	0.8	-2.9E-1	0.6	-	-	27.5	-3.9E-1	0.8	-2.9E-1	0.6	-	-	27.5	-3.9E-1	0.8	-2.9E-1	0.6	-	-	-	-	27.5		
21	-	-	-1.1E+0	0.0	-	-	-	-	25.8	-1.1E+0	0.0	-	-	-	-	25.8	-1.1E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	25.8		

※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。



(a) 「No.21のAIC」の分布 ( $E[N_f] = \text{No.21}$ )



(b) 「No.21のAIC - No.17のAIC」の分布 ( $E[N_f] = \text{No.21}$ )

図 3.3.3 PB法により生成した  $N_f$  に対する AIC の分布 (地区単位、三陸、被害関数)

(2) No.17 (三陸)

1) 偏回帰係数、標準誤差 (指数表示小数点以下3桁)

表 3.3.7 No.17の偏回帰係数 ( $N_f$ 、地区単位、三陸)

		推定値	標準誤差	P値
流失扱い	定数項	-1.373E+00	8.386E-01	0.10
	$(NH1-NH2)/Aw$	1.467E+03	3.760E+02	0.00
	Dw	-1.327E-01	9.916E-02	0.18
焼失扱い	定数項	-1.664E+00	8.442E-01	0.05
	$(NH1-NH2)/Aw$	2.675E+03	7.210E+02	0.00
	Dw	-3.106E-01	1.238E-01	0.01
被害関数	定数項	-1.691E+00	8.611E-01	0.05
	$(NH1-NH2)/Aw$	2.245E+03	5.733E+02	0.00
	Dw	-2.351E-01	1.075E-01	0.03

## 2) データへの当てはまりの良さ (例: 被害関数)

大槌、鹿折、志津川以外の 20 地区について  $N_f$  のデータ値が  $E[N_f]$  の 95% 信頼区間に収まる。また、鹿折、志津川の 2 地区については  $E[N_f]$  の信頼区間を考えると、 $N_f$  のデータ値が  $N_f$  の 95% 予測区間に収まる。大槌地区については  $N_f$  の 95% 予測区間に収まらない外れ値となるものの、データへの当てはまりはおおむね良いと考えられる。

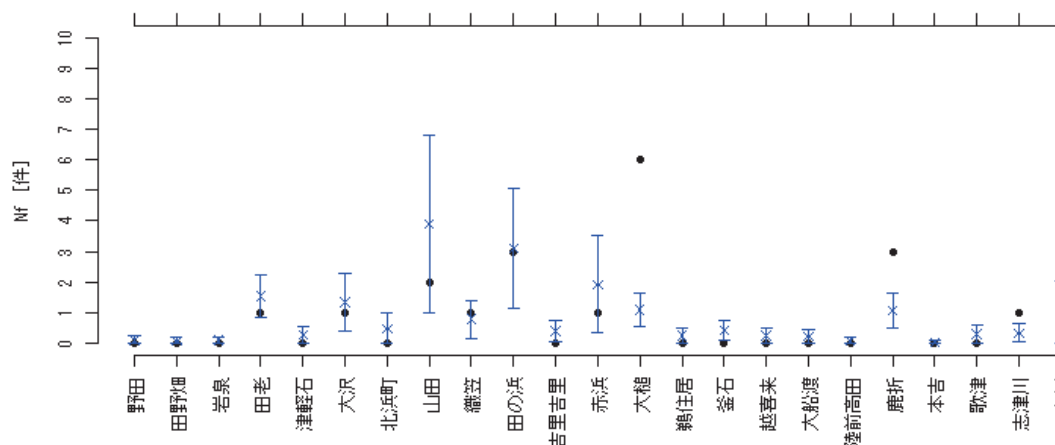


図 3.3.4 No.17 のデータへの当てはまりの良さ ( $N_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: データ、×:  $E[N_f]$ 、棒:  $E[N_f]$  の 95% 信頼区間)

## 3) 感度分析 (例: 被害関数)

No.17 に様々な数値を代入して、 $E[N_f]$  の感度を分析した結果を表 3.3.8 に示す。表の上から下に向かって、指数関数的に (下 2 行では異常に) 値が大きくなるのが分かる。

表 3.3.8 No.17 の感度分析 ( $N_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

		Dw [m]							
		0.1	0.5	1	2	5	10	20	
(NH1-NH2)/Aw [棟/m <sup>2</sup> ]	0.0000	—	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	0.0002	(1棟/5000m <sup>2</sup> )	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0
	0.0005	(1棟/2000m <sup>2</sup> )	0.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.0
	0.0010	(1棟/1000m <sup>2</sup> )	1.7	1.5	1.4	1.1	0.5	0.2	0.0
	0.0020	(1棟/ 500m <sup>2</sup> )	16.0	14.6	13.0	10.3	5.1	1.6	0.1
	0.0040	(1棟/ 250m <sup>2</sup> )	1427.7	1299.6	1155.4	913.3	451.1	139.2	13.3
	0.0100	(1棟/ 100m <sup>2</sup> )	1.0E+09	9.2E+08	8.2E+08	6.4E+08	3.2E+08	9.8E+07	9.4E+06

※影の付いたセルは分析に用いたデータの内挿域の目安

## (3) 考察

3.3.1(3)にまとめて記載したので、参照されたい。

### 3.3.3 延焼面積（地区単位）

#### (1) 回帰分析（三陸）

##### 1) 分析方法

地区単位のデータの  $Af$  を目的変数として、統計解析ソフト R 3.0.1 の  $glm()$  を用いて分析した。リンク関数、確率分布は次のとおり設定した。

##### ① リンク関数

表 3.2.5～表 3.2.7 に示したとおり、 $Af$  と  $NH2$  もしくは  $NH2/Aw$  に正の相関係数の値が大きいことから、説明変数の有力な候補として  $NH2$  もしくは  $NH2/Aw$  が、リンク関数の有力な候補として(3.3.6)の  $identity$  と(3.3.7)の  $log$  が考えられる。比較のため、(3.3.7)を式変形した(3.3.8)も並べて示す。

そこで、リンク関数を選定するため、図 3.3.5～図 3.3.10 に示すとおり、 $Af$  と  $NH2$  および  $Af$  と  $NH2/Aw$  の関係を確認した。Excel を用いて最小二乗法により求めた回帰式をあわせて図示した。

$Af$  と  $NH2$  については、 $Af$  の小さい範囲では(3.3.8)の形で回帰したほうがデータへの当てはまりが良いものの、 $Af$  の大きい範囲では(3.3.6)の形で回帰したほうがデータへの当てはまりが良いことが分かった。また、表 3.3.9 に示すとおり、回帰式の感度分析を行ったところ、(3.3.8)の形で回帰する場合は、 $Af$  の応答値が異常な値になることが分かった。

$Af$  と  $NH2/Aw$  についても同様である。

これを踏まえて、 $Af$  の期待値と線形予測子との関係を表現するリンク関数については、(3.3.6)の  $identity$  を設定した。

<link = “identity”>

$$E[Af] = bx \tag{3.3.6}$$

<link = “log”>

$$\ln(E[Af]) = bx \tag{3.3.7}$$

$$E[Af] = e^{bx} \tag{3.3.8}$$

表 3.3.9 最小二乗法による  $Af$  の回帰式の感度分析

NH2 [棟]	Af [ha]					
	流失扱い		焼失扱い		被害関数	
	直線	指数曲線	直線	指数曲線	直線	指数曲線
0	0	1	0	1	0	1
500	6	3	4	2	5	2
1,000	11	10	9	5	10	7
2,000	23	128	19	48	21	89
3,000	34	1,723	28	430	32	1,085
4,000	45	23,194	38	3,880	43	13,222

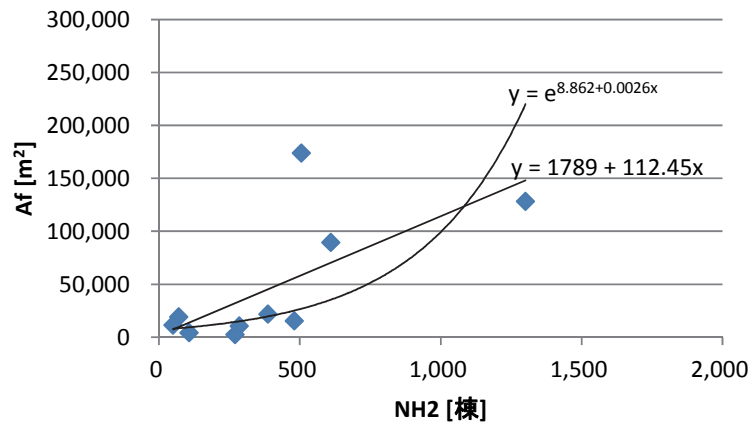


図 3.3.5 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、流失扱い)

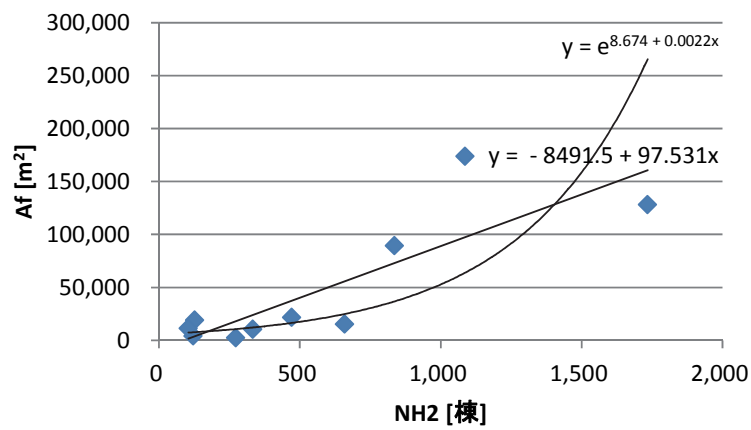


図 3.3.6 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、焼失扱い)

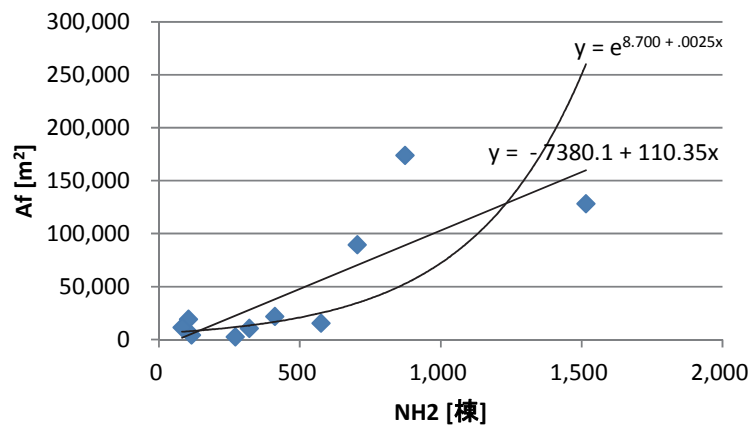


図 3.3.7 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、被害関数)

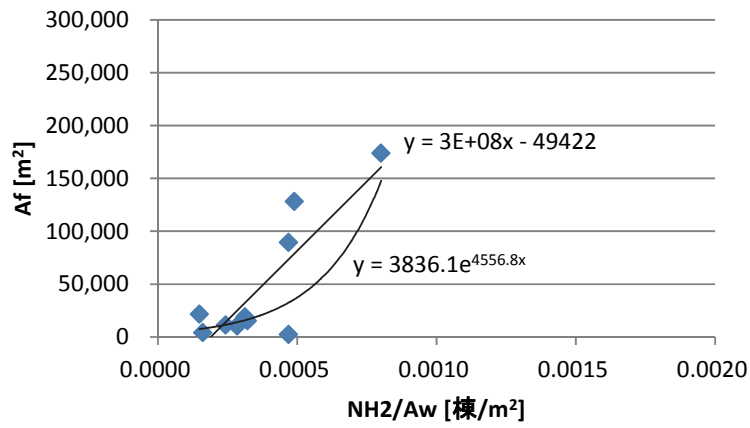


図 3.3.8  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、流矢扱い）

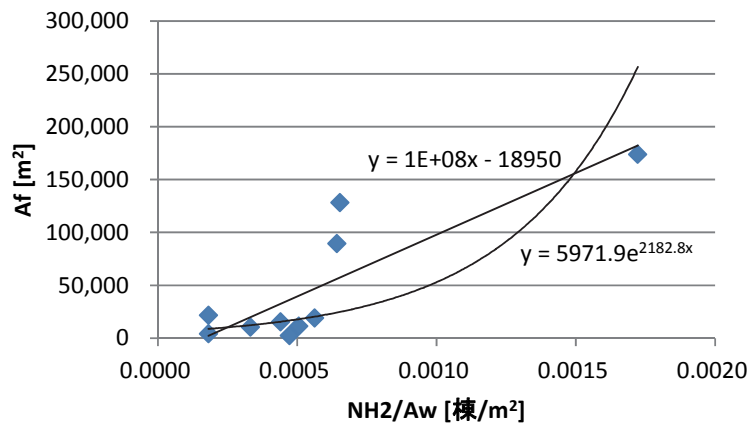


図 3.3.9  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、焼失扱い）

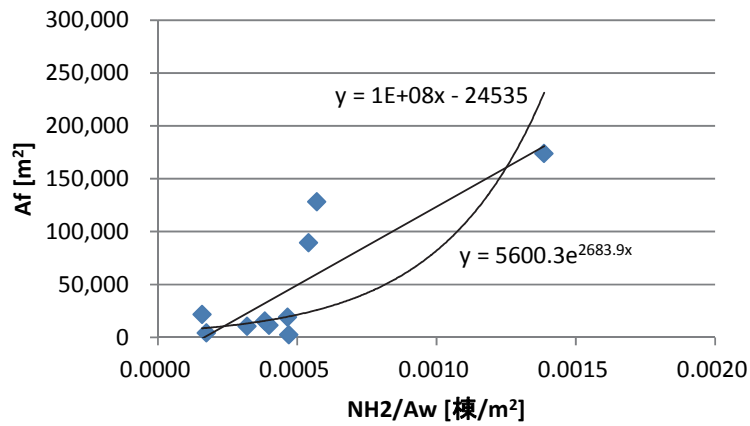


図 3.3.10  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、被害関数）

## ② 確率分布

$Af$  の取りうる値は正の実数で、その値は大きくばらつくと考えられるため、ガンマ分布を設定した。

$$f_{Af}(x | r, s) = \frac{r^s}{\Gamma(s)} x^{s-1} e^{-rx} \quad , \quad x \in \mathbf{R}_{>0} \quad ,$$

$$r : \text{rate パラメータ } (= \frac{s}{E[Af]}) \quad , \quad s : \text{shape パラメータ} \quad (3.3.9)$$

### 2) 分析結果 (表 3.3.10)

説明変数を考えない No.21 と比べて、No.6 と No.13 は AIC が改善した。No.6 は  $AH2$  を、No.13 は  $AH2/Aw$  を説明変数として用いた回帰モデルであり、1)の想定に沿う。No.6 と No.13 では AIC の値は同程度で甲乙つけがたく、また  $AH2$  もしくは  $AH2/Aw$  に追加する説明変数が  $Dw$  もしくは  $Aw$  と異なっている。そこで、以降 No.6 と No.13 について詳しく見る。

逆に、 $NH1$  や  $(NH1-NH2)$ 、 $NH1/Aw$ 、 $(NH1-NH2)/Aw$  については、どの回帰モデルでも AIC の改善にほとんど寄与していない。

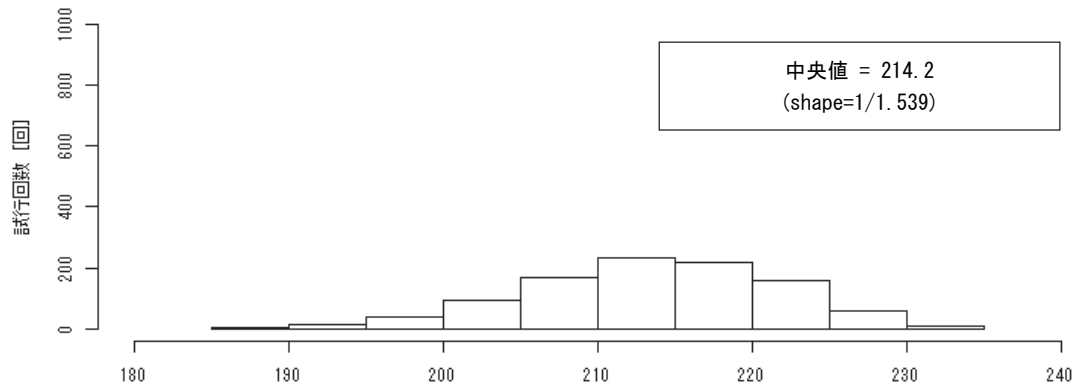
なお、No.21 の AIC と No.13 の AIC の差の有意性を PB 法により確認した。具体的には、 $Af$  が No.21 に従うと仮定して各地区の  $Af$  の値を乱数から生成する試行を 1000 回行い (乱数の初期 Seed は 1)、信頼水準 95% で有意であることを確認した (図 3.3.11)。



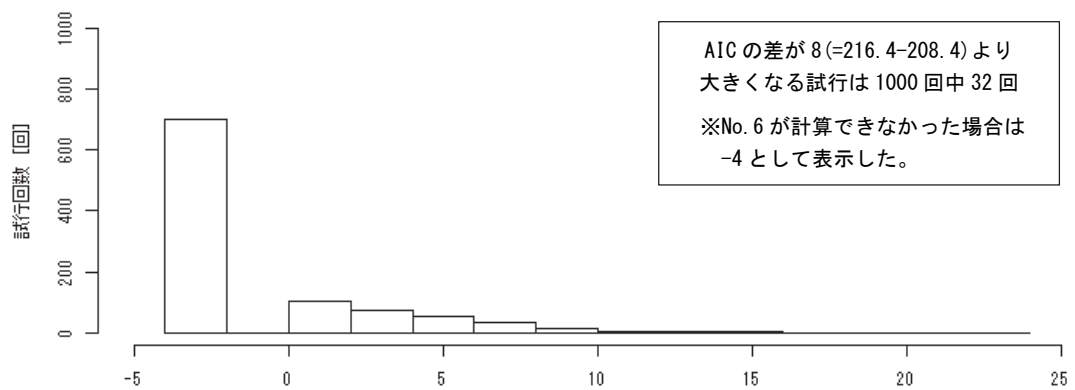
表 3.3.10 回帰分析結果 (4f、地区単位、三陸)

No.	線形予測子		流失扱い						被災扱い						被害関数								
	$b_0+b_1*x_1+b_2*x_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		
	$x_1$	$x_2$	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	
1	NH1	NH2	1.0E+4	0.2	-2.4E+1	0.2	2.1E+2	0.1	212.3														
2	NH1	-	-3.6E+3	0.8	2.9E+1	0.1	0.0E+0	0.0	213.1	-3.6E+3	0.8	2.9E+1	0.1	0.0E+0	0.0	213.1	-3.6E+3	0.8	2.9E+1	0.1	0.0E+0	0.0	213.1
3	NH2	-	4.2E+3	0.6	1.1E+2	0.1	0.0E+0	0.0	211.5	4.9E+2	0.9	7.8E+1	0.0	0.0E+0	0.0	207.3	1.6E+3	0.8	8.8E+1	0.0	0.0E+0	0.0	208.7
4	NH1-NH2	-	-7.0E+3	0.7	4.1E+1	0.1	0.0E+0	0.0	213.5	-8.7E+2	1.0	4.6E+1	0.3	0.0E+0	0.0	216.7	-5.9E+3	0.8	4.7E+1	0.2	0.0E+0	0.0	215.4
5	NH1	Dw	-3.7E+4	0.1	3.9E+1	0.1	4.7E+3	0.2	213.3	-3.7E+4	0.1	3.9E+1	0.1	4.7E+3	0.2	213.3	-3.7E+4	0.1	3.9E+1	0.1	4.7E+3	0.2	213.3
6	NH2	Dw	-1.9E+4	0.2	1.3E+2	0.1	3.6E+3	0.2	211.9	-1.2E+4	0.1	8.0E+1	0.0	2.2E+3	0.2	206.9	-1.4E+4	0.1	9.5E+1	0.0	2.6E+3	0.2	208.4
7	NH1-NH2	Dw	-4.7E+4	0.1	5.9E+1	0.1	5.4E+3	0.2	213.2	5.1E+4	0.4	2.0E+1	0.4	-5.8E+3	0.4	218.0							
8	NH1/Aw	NH2/Aw	2.2E+3	0.9	-1.8E+7	0.2	2.1E+8	0.1	213.4														
9	NH1/Aw	-	-5.0E+4	0.1	5.3E+7	0.1	0.0E+0	0.0	214.4	-5.0E+4	0.1	5.3E+7	0.1	0.0E+0	0.0	214.4	-5.0E+4	0.1	5.3E+7	0.1	0.0E+0	0.0	214.4
10	NH2/Aw	-								-5.2E+3	0.7	8.8E+7	0.1	0.0E+0	0.0	212.0							
11	(NH1-NH2)/Aw	-	-7.8E+4	0.1	9.0E+7	0.1	0.0E+0	0.0	215.1	-1.4E+5	0.1	1.6E+8	0.1	0.0E+0	0.0	217.7	-1.0E+5	0.1	1.1E+8	0.0	0.0E+0	0.0	215.9
12	NH1/Aw	Aw	-6.2E+4	0.1	3.0E+7	0.1	4.9E-2	0.1	211.6	-6.2E+4	0.1	3.0E+7	0.1	4.9E-2	0.1	211.6	-6.2E+4	0.1	3.0E+7	0.1	4.9E-2	0.1	211.6
13	NH2/Aw	Aw	-3.0E+4	0.0	1.6E+8	0.0	1.3E-2	0.1	209.8	-2.6E+4	0.0	6.7E+7	0.0	2.5E-2	0.1	207.5	-2.7E+4	0.0	8.7E+7	0.0	2.3E-2	0.1	208.4
14	(NH1-NH2)/Aw	Aw	-8.4E+4	0.1	4.2E+7	0.1	7.2E-2	0.1	211.5														
15	NH1/Aw	Dw	-5.6E+4	0.1	4.8E+7	0.1	3.0E+3	0.6	215.6	-5.6E+4	0.1	4.8E+7	0.1	3.0E+3	0.6	215.6	-5.6E+4	0.1	4.8E+7	0.1	3.0E+3	0.6	215.6
16	NH2/Aw	Dw	-2.8E+4	0.1	1.5E+8	0.1	2.9E+3	0.3	212.6														
17	(NH1-NH2)/Aw	Dw								-1.3E+5	0.1	1.4E+8	0.1	2.3E+3	0.8	219.6	-9.3E+4	0.1	9.9E+7	0.1	2.6E+3	0.7	217.7
18	Aw	Dw	5.8E+4	0.3	2.1E-2	0.5	-6.3E+3	0.4	218.4	5.8E+4	0.3	2.1E-2	0.5	-6.3E+3	0.4	218.4	5.8E+4	0.3	2.1E-2	0.5	-6.3E+3	0.4	218.4
19	Aw	-	1.5E+4	0.6	3.7E-2	0.4	0.0E+0	0.0	217.4	1.5E+4	0.6	3.7E-2	0.4	0.0E+0	0.0	217.4	1.5E+4	0.6	3.7E-2	0.4	0.0E+0	0.0	217.4
20	Dw	-	1.1E+5	0.1	-1.2E+4	0.2	0.0E+0	0.0	217.7	1.1E+5	0.1	-1.2E+4	0.2	0.0E+0	0.0	217.7	1.1E+5	0.1	-1.2E+4	0.2	0.0E+0	0.0	217.7
21	-	-	5.1E+4	0.0	0.0E+0	0.0	0.0E+0	0.0	216.4	5.1E+4	0.0	0.0E+0	0.0	0.0E+0	0.0	216.4	5.1E+4	0.0	0.0E+0	0.0	0.0E+0	0.0	216.4

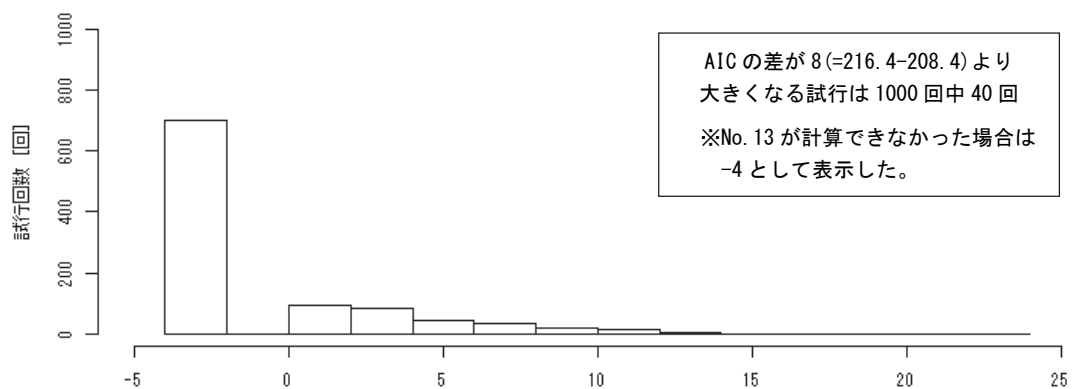
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。また、glm()では偏回帰係数を求められなかったセルに黒影を付けた。



(a) 「No.21 の AIC」 の分布 (  $E[Af] = \text{No.21}$  )



(b) 「No.21 の AIC - No.6 の AIC」 の分布 (  $E[Af] = \text{No.21}$  )



(c) 「No.21 の AIC - No.13 の AIC」 の分布 (  $E[Af] = \text{No.21}$  )

図 3.3.11 PB 法により生成した  $Af$  に対する AIC の分布 (地区単位、三陸、被害関数)

(2) No.6 (三陸)

1) 偏回帰係数、標準誤差 (指数表示小数点以下3桁)

表 3.3.11 最適モデルの偏回帰係数 ( $A_f$ 、地区単位、三陸)

		推定値	標準誤差	P値	dispersion (=1/shape)
流失扱い	定数項	-1.910E+04	1.255E+04	0.18	1.069E+00
	NH2	1.307E+02	6.629E+01	0.10	
	Dw	3.564E+03	2.495E+03	0.20	
焼失扱い	定数項	-1.186E+04	6.637E+03	0.12	5.322E-01
	NH2	8.019E+01	2.981E+01	0.04	
	Dw	2.225E+03	1.572E+03	0.21	
被害関数	定数項	-1.404E+04	7.792E+03	0.12	6.182E-01
	NH2	9.457E+01	3.748E+01	0.05	
	Dw	2.620E+03	1.732E+03	0.18	

2) データへの当てはまりの良さ (例: 被害関数)

山田地区については過小に評価するものの、山田地区以外については  $A_f$  のデータ値が  $E[A_f]$  の 95%信頼区間の内側もしくはその近傍にあり、データへの当てはまりはおおむね良いと考えられる。

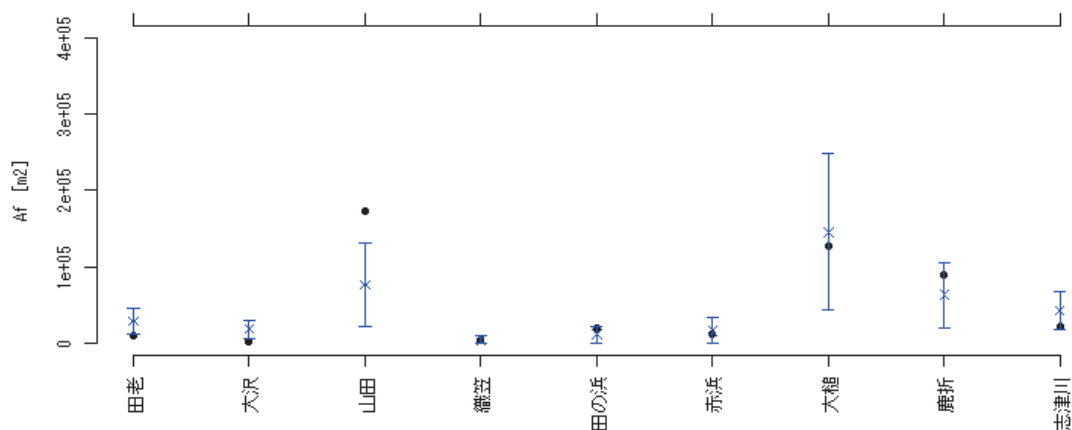


図 3.3.12 データへの当てはまりの良さ ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: データ、×:  $E[A_f]$ 、棒:  $E[A_f]$  の 95% 信頼区間)

### 3) 感度分析 (例: 被害関数)

最適モデルに様々な数値を代入して、 $E[A_f]$ の感度を分析した結果を表 3.3.12 に示す。全体的に  $NH2$  の影響が大きいと言える。 $Dw$  が影響するのは、 $NH2$  が 100 棟程度の小さい値で、かつ  $Dw$  が 10m 程度の大きな値となる場合に限られる。

表 3.3.12 最適モデルの感度分析 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

		Dw [m]						
		0.1	0.5	1	2	5	10	20
NH2 [棟]	10,000	931,913	932,961	934,271	936,890	944,750	957,848	984,046
	5,000	459,065	460,113	461,423	464,042	471,902	485,000	511,198
	1,000	80,787	81,835	83,144	85,764	93,623	106,722	132,920
	500	33,502	34,550	35,860	38,479	46,339	59,437	85,635
	100	0	0	0	652	8,511	21,609	47,807
	10	0	0	0	0	0	13,098	39,296
	1	0	0	0	0	0	12,247	38,445

※影の付いたセルは分析に用いたデータの内挿域の目安

### 4) 津波火災のなかった地区 (三陸) への適用 (例: 被害関数)

No.13 (図 3.3.15) と比べて、大船渡地区について  $E[A_f]$  を大きく評価することが No.6 の特徴である。大船渡地区の  $NH2$  はおよそ 2,500 棟、 $Dw$  はおよそ 5.5m なので、3) と照らし合わせると、これは主に  $NH2$  の影響によると言える。

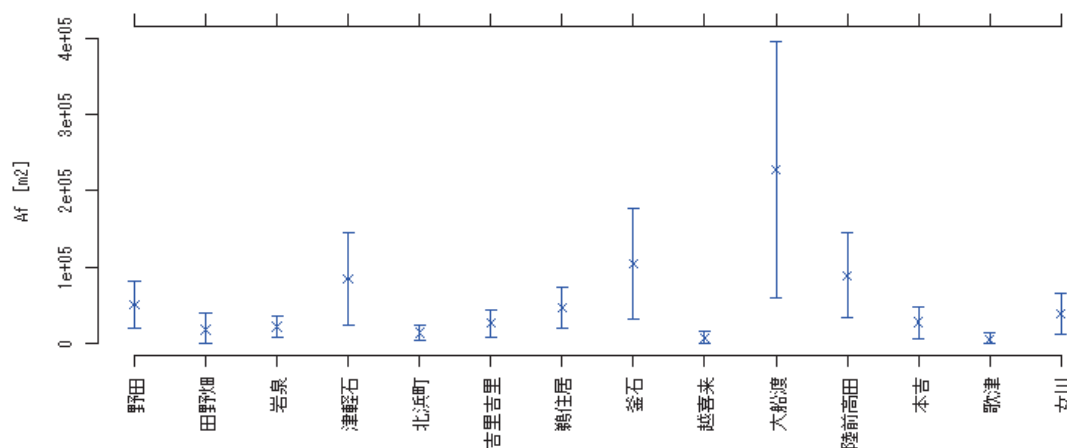


図 3.3.13 津波火災のなかった地区への適用 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(×:  $E[A_f]$ 、棒:  $E[A_f]$  の 95% 信頼区間)

(3) No.13 (三陸)

1) 偏回帰係数、標準誤差 (指数表示小数点以下3桁)

表 3.3.13 最適モデルの偏回帰係数 ( $A_f$ 、地区単位、三陸)

		推定値	標準誤差	P値	dispersion (=1/shape)
流失扱い	定数項	-3.012E+04	9.988E+03	0.02	3.967E-01
	NH2/Aw	1.568E+08	4.331E+07	0.01	
	Aw	1.295E-02	7.084E-03	0.12	
焼失扱い	定数項	-2.568E+04	1.027E+04	0.05	4.520E-01
	NH2/Aw	6.748E+07	1.958E+07	0.01	
	Aw	2.519E-02	1.154E-02	0.07	
被害関数	定数項	-2.682E+04	1.035E+04	0.04	4.573E-01
	NH2/Aw	8.731E+07	2.554E+07	0.01	
	Aw	2.260E-02	1.075E-02	0.08	

2) データへの当てはまりの良さ (例: 被害関数)

いずれの地区についても  $A_f$  のデータ値が  $E[A_f]$  の 95% 信頼区間の内側もしくはその近傍にあり、データへの当てはまりはおおむね良いと考えられる。

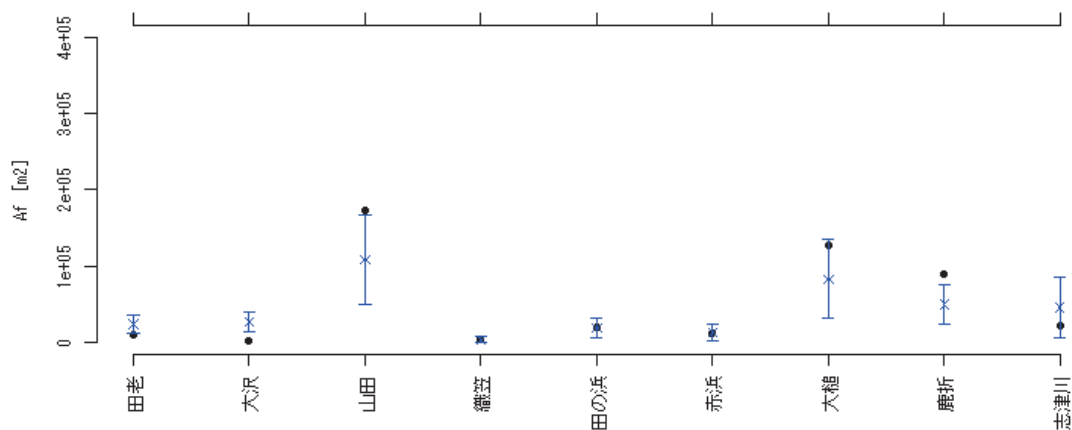


図 3.3.14 データへの当てはまりの良さ ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: データ、×:  $E[A_f]$ 、棒:  $E[A_f]$  の 95% 信頼区間)

### 3) 感度分析 (例: 被害関数)

最適モデルに様々な数値を代入して、 $E[A_f]$ の感度を分析した結果を表 3.3.14 に示す。 $NH2/A_w$ の値の小さい範囲では  $A_w$  の  $E[A_f]$ への影響が大きいものの、逆に  $NH2/A_w$ の値の大きい範囲では  $A_w$  の  $E[A_f]$ への影響が小さい。また、左上のセルでは、 $E[A_f]$ が  $A_w$  よりも大きい値になっている。

表 3.3.14 最適モデルの感度分析 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

		$A_w$ [ $m^2$ ]						
		100,000	500,000	1,000,000	5,000,000	10,000,000	50,000,000	
		(10ha)	(50ha)	(1km <sup>2</sup> )	(5km <sup>2</sup> )	(10km <sup>2</sup> )	(50km <sup>2</sup> )	
$NH2/A_w$ [ $棟/m^2$ ]	0.0100	(1棟/ 100m <sup>2</sup> )	848,495	857,534	868,832	959,222	1,072,210	1,976,112
	0.0050	(1棟/ 200m <sup>2</sup> )	411,968	421,007	432,306	522,696	635,683	1,539,585
	0.0025	(1棟/ 400m <sup>2</sup> )	193,704	202,743	214,042	304,432	417,420	1,321,321
	0.0013	(1棟/ 800m <sup>2</sup> )	84,573	93,612	104,910	195,301	308,288	1,212,190
	0.0005	(1棟/2000m <sup>2</sup> )	19,094	28,133	39,431	129,822	242,809	1,146,711
	0.0002	(1棟/5000m <sup>2</sup> )	0	1,941	13,240	103,630	216,618	1,120,519
	0.0000	—	0	0	0	86,169	199,157	1,103,058

※影の付いたセルは分析に用いたデータの内挿域の目安

### 4) 津波火災のなかった地区 (三陸) への適用 (例: 被害関数)

No.6 (図 3.3.13) と比べて、陸前高田地区について  $E[A_f]$ を大きく評価することが No.13 の特徴である。陸前高田地区の  $NH2/A_w$ はおよそ 0.0001、 $A_w$ はおよそ 8,000,000 なので、3) と照らし合わせると、これは主に  $A_w$ の影響によると言える。

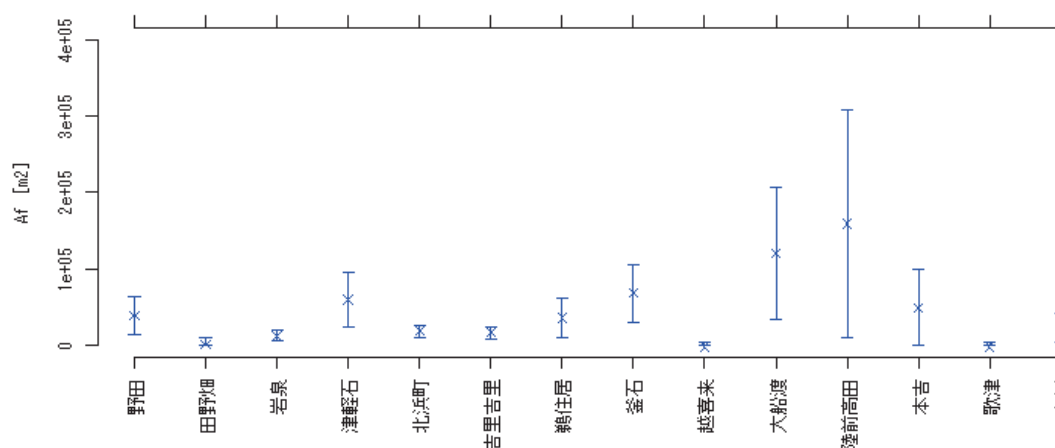


図 3.3.15 津波火災のなかった地区への適用 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(× :  $E[A_f]$ 、棒 :  $E[A_f]$ の 95%信頼区間)

#### (4) 考察

##### 1) $NH2$ と $NH2/A_w$ が有意な説明変数となることについて

偏回帰係数は正の値であり、津波火災の主な延焼媒体が「津波による流失を免れた建物」であったと解釈できる。仮に津波火災の主な延焼媒体がガレキであれば、ガレキの量に関係する  $(NH1-NH2)$  もしくは  $(NH1-NH2)/A_w$  が説明変数となることが考えられるが、有意にならなかった。

つまり、津波火災の延焼は、1995年兵庫県南部地震時の火災事例など地震により直接的に起因する火災と同様に、建物同士の延焼によって主に説明できると考えられる。

ただし、これはガレキを延焼媒体のひとつとして考えることを否定するものではない。ガレキの有無によって単位面積当たりの発熱量ひいては延焼速度に違いのある可能性がある。

##### 2) No.6 と No.13 の優劣について

感度分析の結果など、詳しく見ても甲乙つけがたい。

##### 3) No.6 で $D_w$ が有意な説明変数となることについて

偏回帰係数は正の値であり、3.3.1とは逆符号である。その理由については確定的に説明できない。

### 3.3.4 延焼確率（メッシュ単位）

#### (1) 回帰分析（三陸）

##### 1) 分析方法

メッシュ単位のデータの  $Bf$  を目的変数として、統計解析ソフト R 3.0.1 の `glm()` を用いて分析した。リンク関数、確率分布は次のとおり設定した。

##### ① リンク関数

$Bf$  の期待値の取りうる値は 0 以上 1 以下なので、 $Bf$  の期待値と線形予測子との関係を表現するリンク関数については、(3.3.10) の `logit` を設定した。つまり、式変形により、 $Bf$  の期待値は(3.3.11) のロジスティック関数により表現できると設定した。

$$\ln\left(\frac{E[Bf]}{1-E[Bf]}\right) = bx \quad (3.3.10)$$

$$E[Bf] = \frac{1}{1+e^{-bx}} \quad (3.3.11)$$

##### ② 確率分布

$Bf$  の取りうる値は 0 か 1 のいずれかであるため、その確率分布としてベルヌーイ分布を設定した ( $P[Bf=1]=E[Bf]$ 、 $P[Bf=0]=1-E[Bf]$ )。ただし、延焼の連鎖的な性質により 100m メッシュごとの  $Bf$  の値は実際のところ独立ではないが、これは考慮していない。

なお、100m メッシュごとの延焼面積の割合（0ha 以上 1ha 以下）を目的変数として、二項分布を用いることも考えられるが、崖などの地形によって延焼面積が制限される影響などの取り扱いが難しく、ここでは取り扱わなかった。

#### 2) 分析結果（表 3.3.15）

説明変数を考えない No.16 と比べて、説明変数ひとつの回帰モデルの中では特に  $NHI$  を説明変数とした No.12 で AIC が改善した。さらに、No.12 と比べて、 $Dw$  を説明変数として追加した No.6 で AIC が改善した。そこで、以降 No.6 を最適モデルとして取り扱う。

逆に、 $SL$  および  $Be$  については AIC の改善にほとんど寄与しなかった。

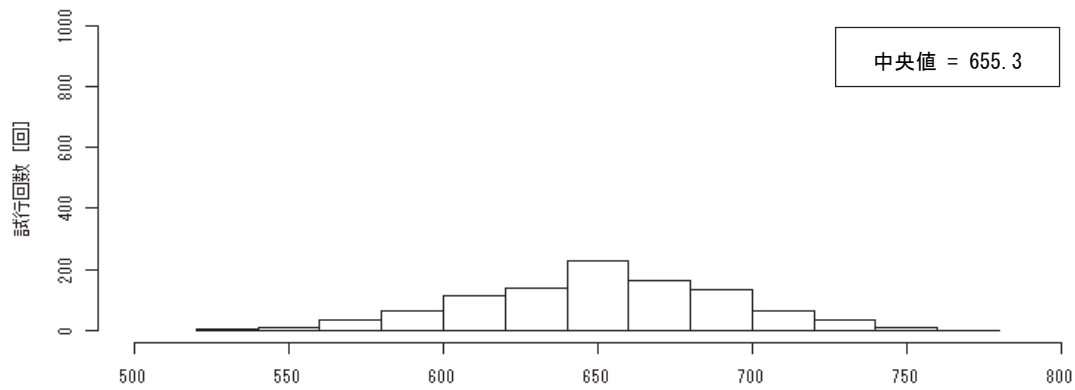
なお、No.16 の AIC と No.12 の AIC の差、No.12 の AIC と No.6 の AIC の差の有意性を PB 法により確認した。具体的には、 $Bf$  が No.16 や No.12 に従うと仮定して各メッシュの  $Bf$  の値を乱数から生成する試行を 1000 回行い（乱数の初期 Seed は 1）、それぞれが信頼水準 95% で有意であることを確認した（図 3.3.16）。



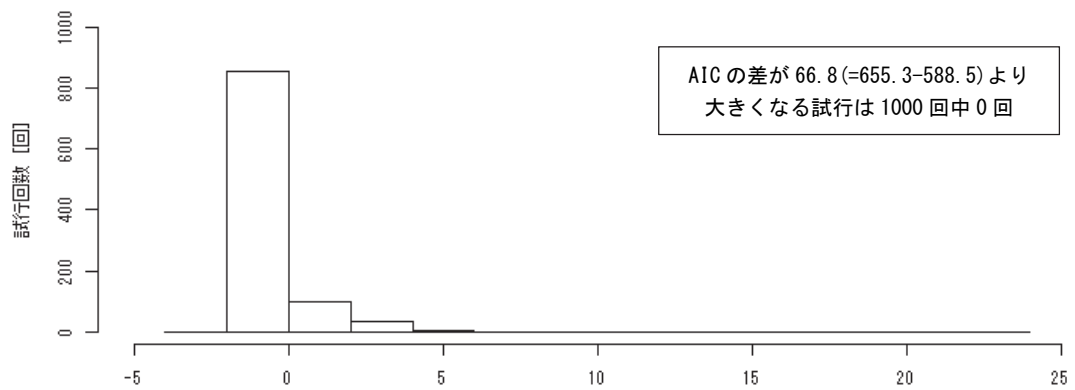
表 3.3.15 回帰分析結果 (Bf、メッシュ単位、三陸)

No.	線形予測子				定数項		NH1		Dw		SL		Be		AIC
	$b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3 + b_4 * x_4$				係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$											
1	NH1	Dw	SL	Be	-2.1E+0	0.0	5.7E-2	0.0	-2.2E-1	0.0	-5.0E-2	0.2	3.4E-1	0.3	548.0
2	NH1	Dw	SL	-	-2.1E+0	0.0	5.8E-2	0.0	-2.2E-1	0.0	-2.9E-2	0.3	-	-	546.9
3	NH1	Dw	-	Be	-2.4E+0	0.0	6.2E-2	0.0	-2.2E-1	0.0	-	-	2.4E-2	0.9	548.1
4	NH1	-	SL	Be	-3.3E+0	0.0	5.4E-2	0.0	-	-	-3.1E-2	0.4	4.2E-1	0.2	591.0
5	-	Dw	SL	Be	-7.5E-1	0.0	-	-	-1.9E-1	0.0	-1.4E-1	0.0	6.0E-1	0.1	601.5
6	NH1	Dw	-	-	-2.4E+0	0.0	6.1E-2	0.0	-2.2E-1	0.0	-	-	-	-	546.1
7	NH1	-	SL	-	-3.3E+0	0.0	5.6E-2	0.0	-	-	-6.1E-3	0.8	-	-	590.5
8	NH1	-	-	Be	-3.4E+0	0.0	5.7E-2	0.0	-	-	-	-	2.2E-1	0.4	589.9
9	-	Dw	SL	-	-7.5E-1	0.0	-	-	-2.0E-1	0.0	-1.0E-1	0.0	-	-	602.6
10	-	Dw	-	Be	-1.2E+0	0.0	-	-	-1.8E-1	0.0	-	-	-3.6E-1	0.2	620.0
11	-	-	SL	Be	-1.9E+0	0.0	-	-	-	-	-1.2E-1	0.0	7.0E-1	0.0	643.6
12	NH1	-	-	-	-3.3E+0	0.0	5.6E-2	0.0	-	-	-	-	-	-	588.5
13	-	Dw	-	-	-1.3E+0	0.0	-	-	-1.8E-1	0.0	-	-	-	-	620.1
14	-	-	SL	-	-1.9E+0	0.0	-	-	-	-	-7.5E-2	0.0	-	-	645.8
15	-	-	-	Be	-2.2E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	-1.5E-1	0.6	656.9
16	-	-	-	-	-2.2E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	655.3

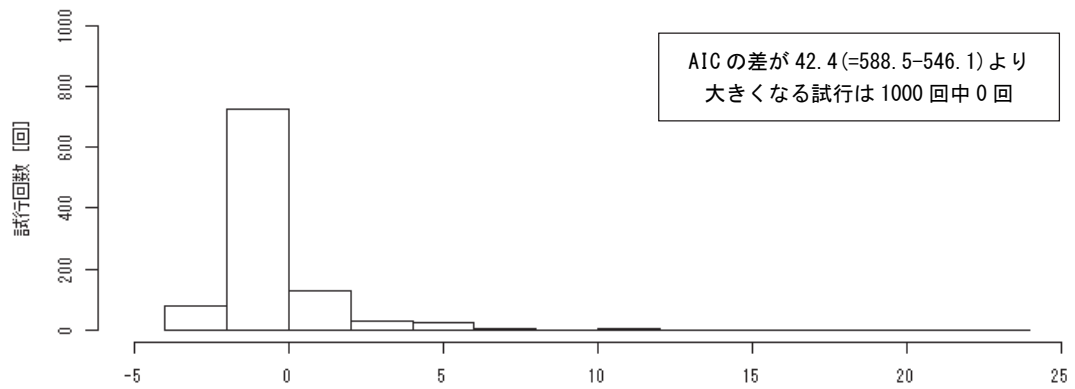
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。



(a) 「No.16 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.16}$  )



(b) 「No.16 の AIC - No.12 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.16}$  )



(c) 「No.12 の AIC - No.6 の AIC」 の分布 (  $E[Bf] = \text{No.12}$  )

図 3.3.16 PB 法により生成した  $Bf$  に対する AIC の分布 (メッシュ単位、三陸、被害関数)

(2) No.6 (三陸)

1) 偏回帰係数、標準誤差 (指数表示小数点以下3桁)

表 3.3.16 No.16の偏回帰係数 ( $B_f$ 、メッシュ単位、三陸)

	推定値	標準誤差	P値
定数項	-2.350E+00	2.409E-01	0.00
NH1	6.142E-02	7.357E-03	0.00
Dw	-2.159E-01	3.759E-02	0.00

2) データへの当てはまりの良さ (図 3.3.18~図 3.3.26)

実際には延焼しなかった範囲にも  $E[B_f]$ の予測値の大きいメッシュがある。航空写真と見比べると、後者のメッシュは第2章で図2.2.1や図2.2.3に示したような場所が多い。実際に延焼した範囲の  $E[B_f]$ の予測値は大きいメッシュでも0.6程度であるが、このことからデータに良く当てはまっていると考えられる。

ただし、図3.3.24の大槌地区については、図3.3.17の航空写真や第2章で把握したガレキ堆積状況と見比べて、図中の①と②の2カ所にガレキがあまり見当たらず、これら2カ所の  $E[B_f]$ の予測値を過大評価している可能性がある。①は堤防および山によって浸水深の大きい市街地と不連続となっていること、②は浸水深の大きい市街地から離れた図2.2.6に示したような場所であることが影響していると考えられる。

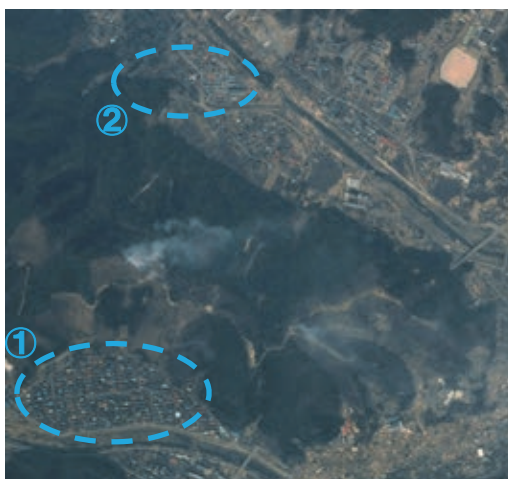


図 3.3.17 大槌地区の航空写真の拡大図<sup>16)</sup>

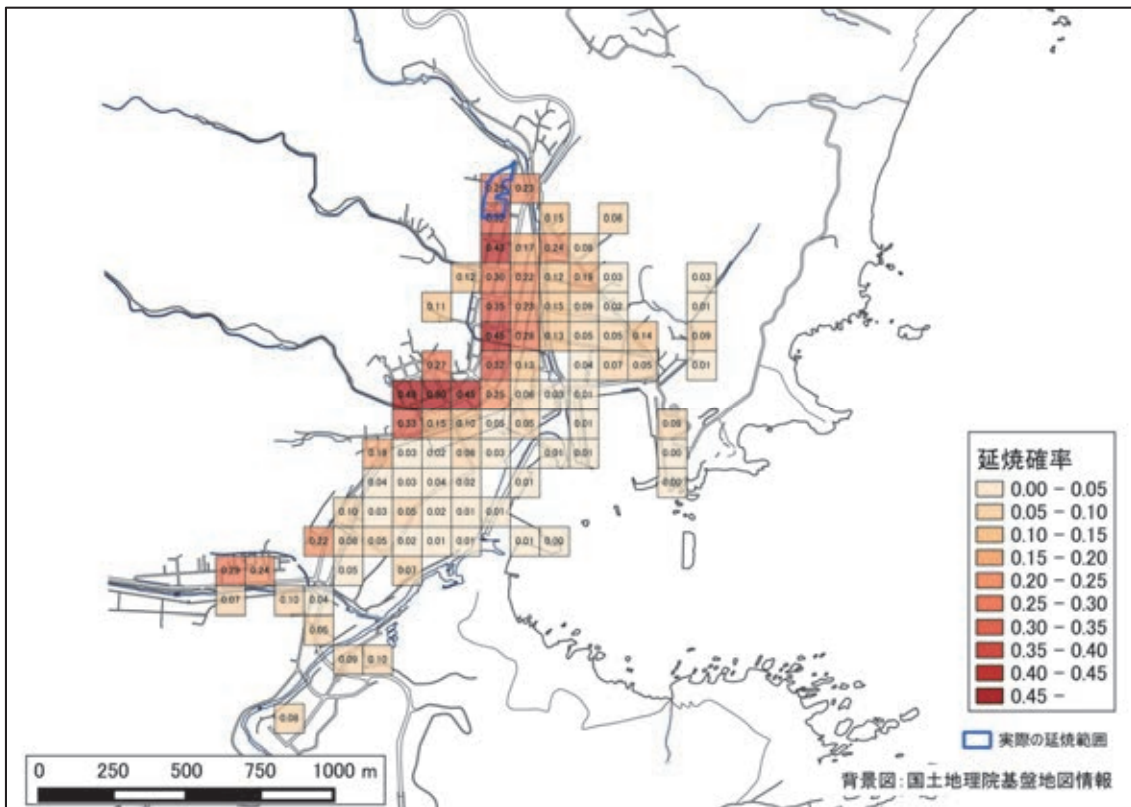


図 3.3.18 田老地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

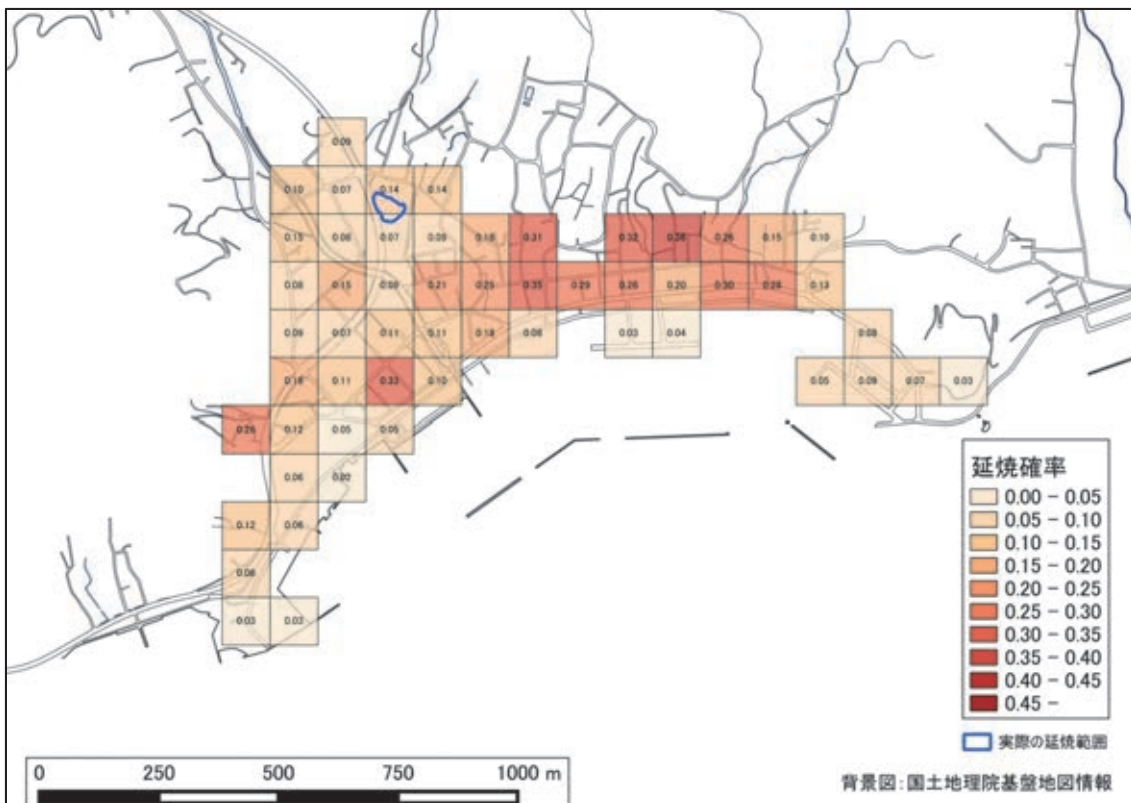


図 3.3.19 大沢地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

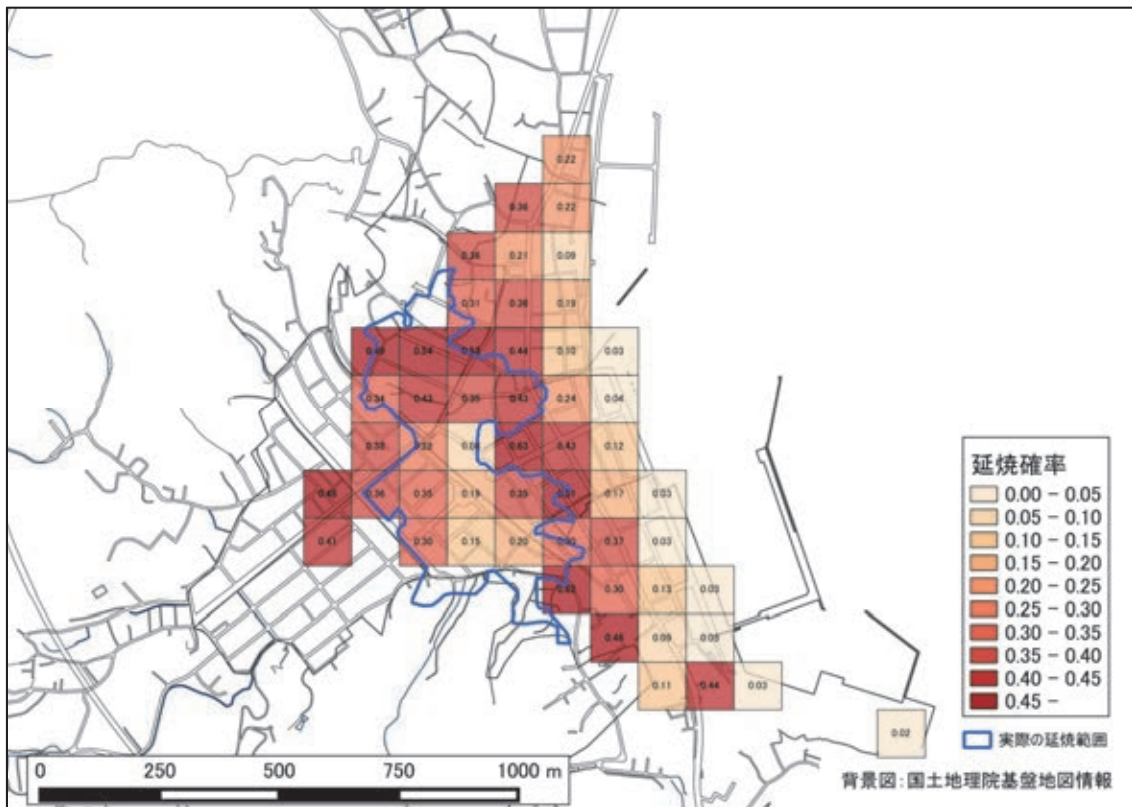


図 3.3.20 山田地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18) をもとに作成

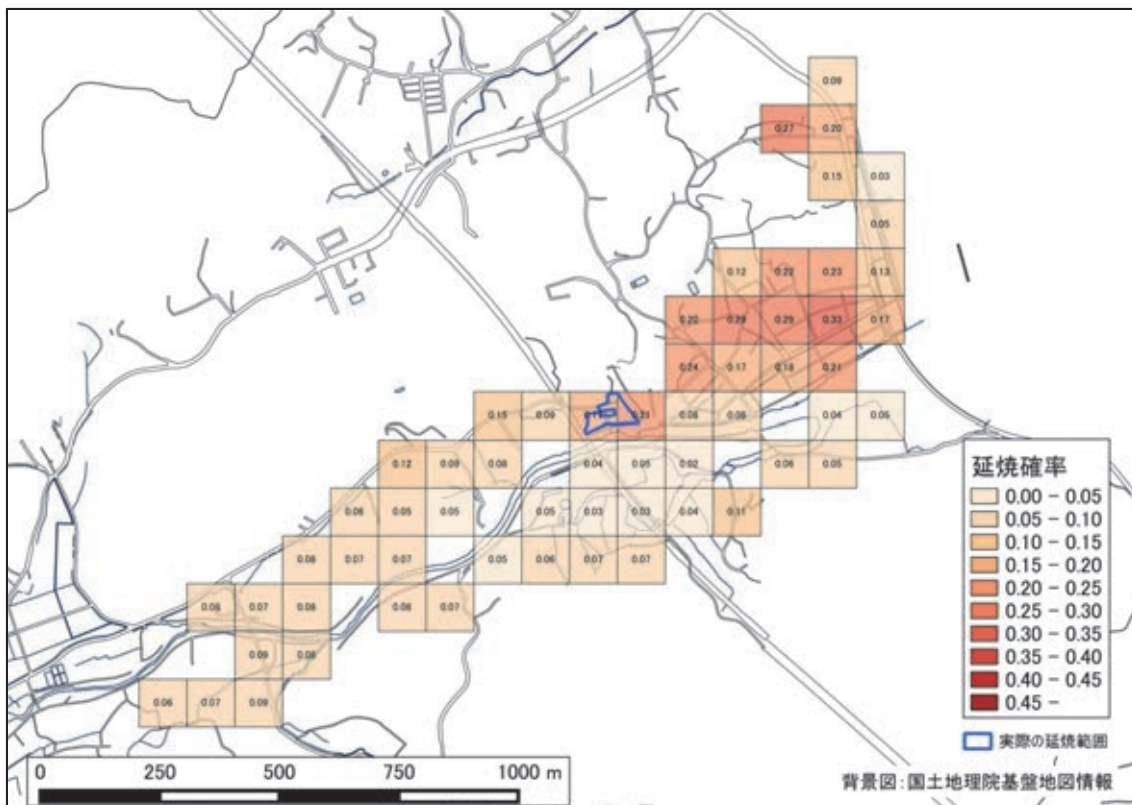


図 3.3.21 織笠地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18) をもとに作成



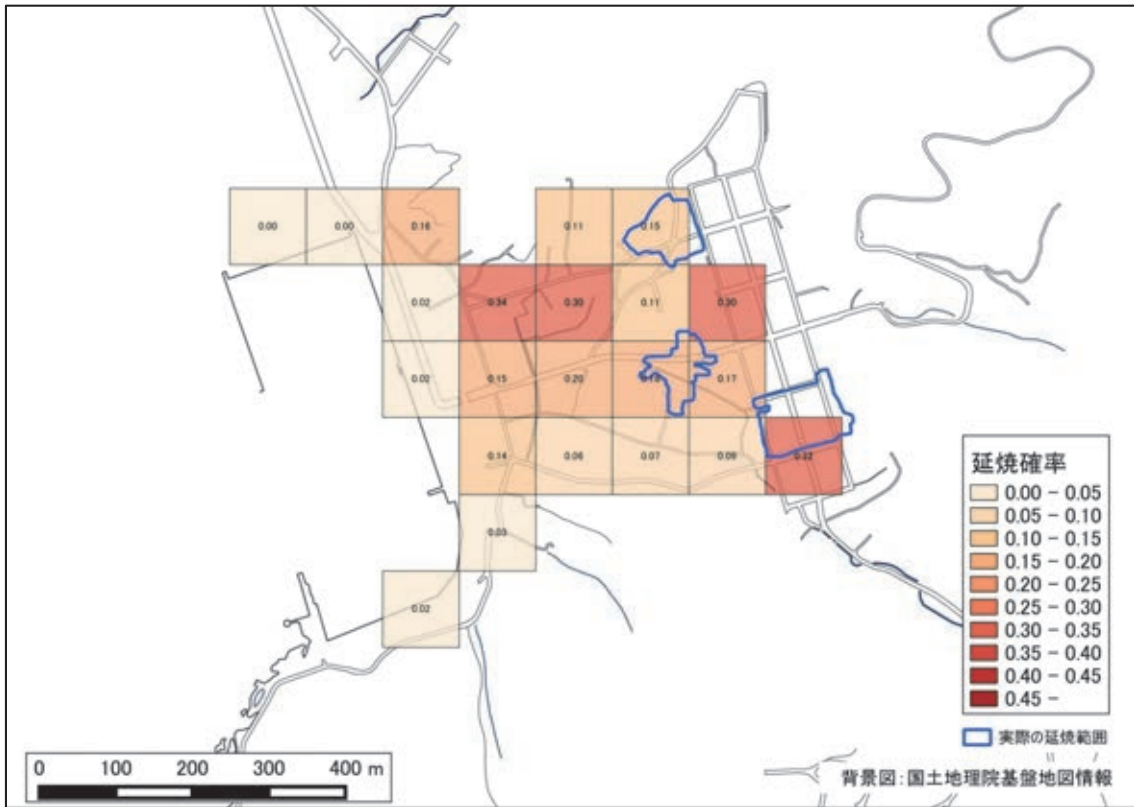


図 3.3.22 田の浜地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

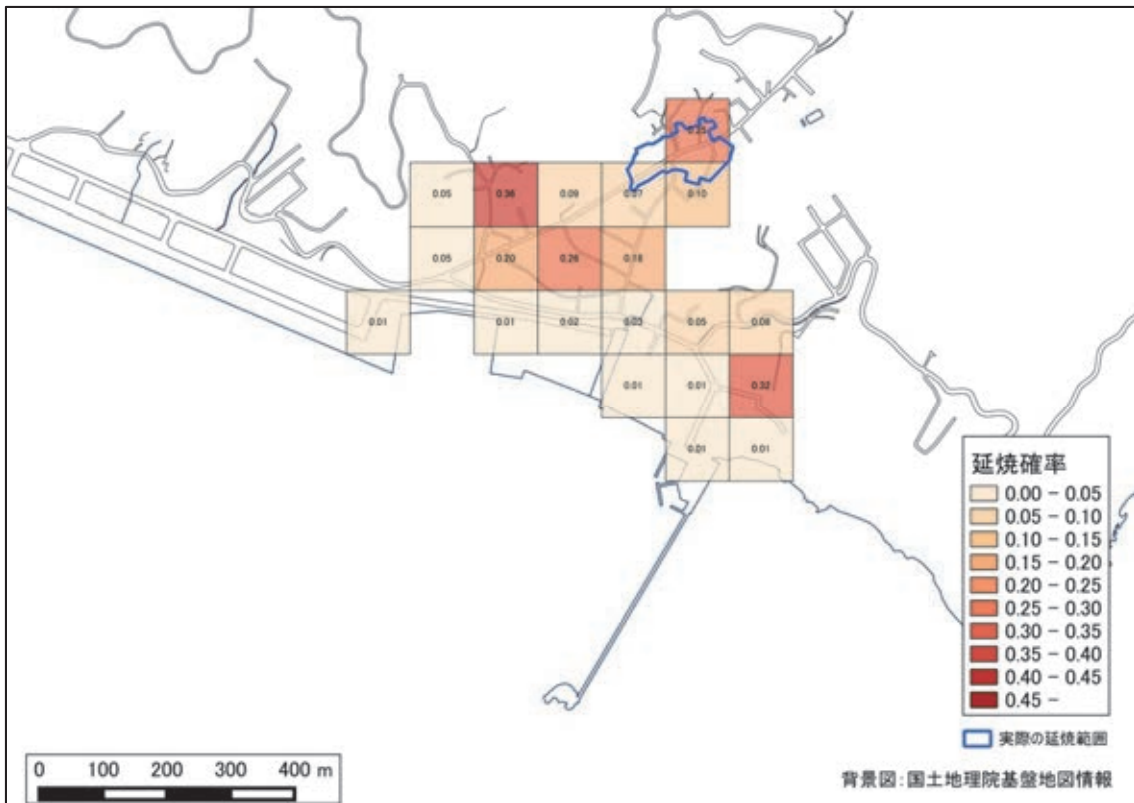


図 3.3.23 赤浜地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

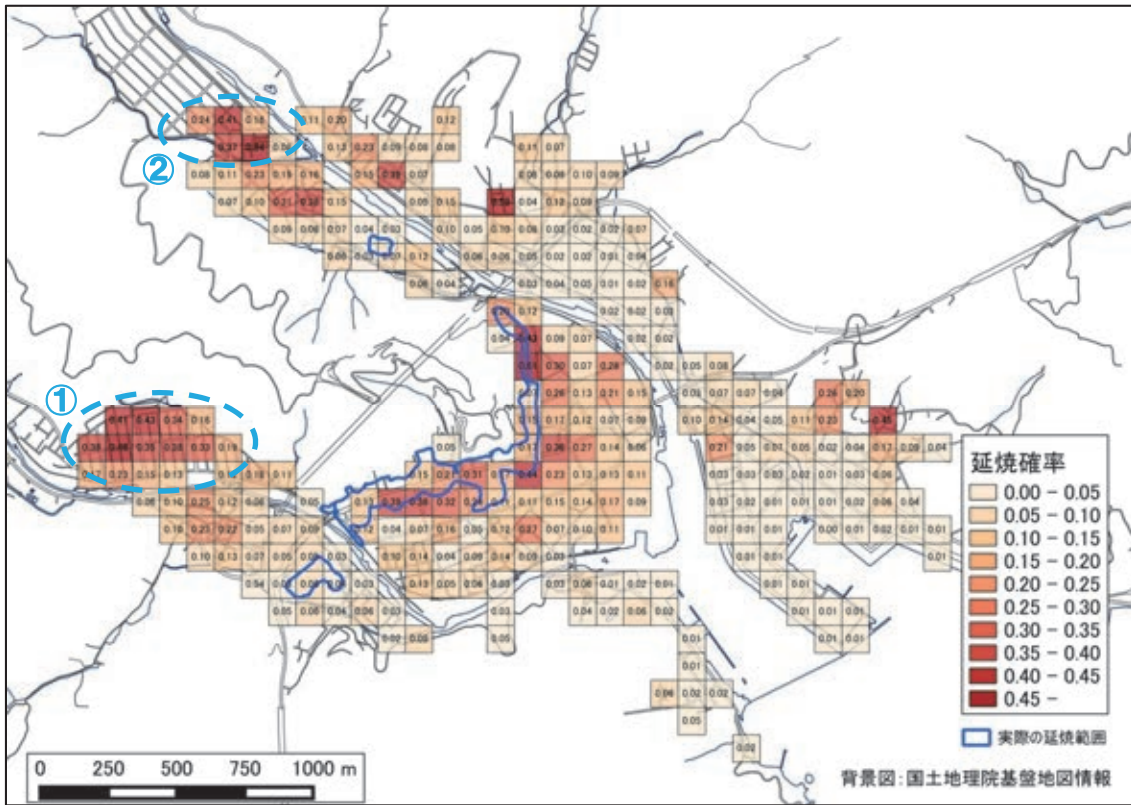


図 3.3.24 大槌地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18)をもとに作成

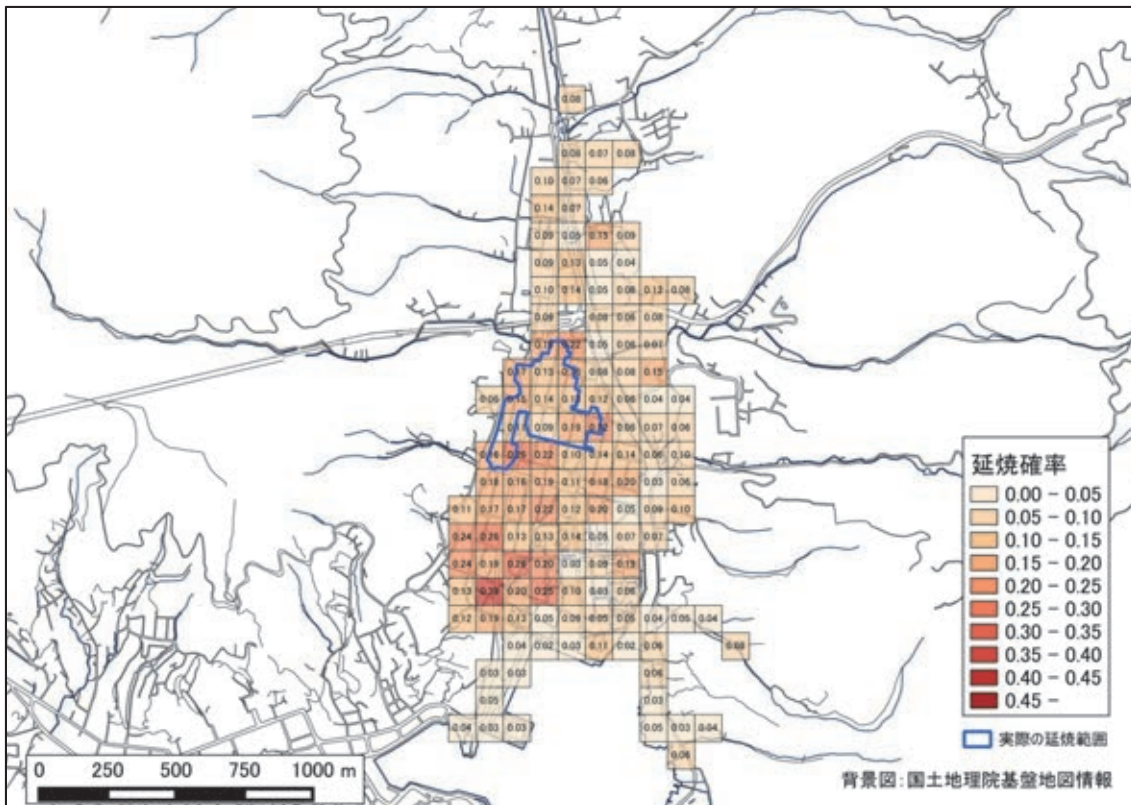


図 3.3.25 鹿折地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18)をもとに作成

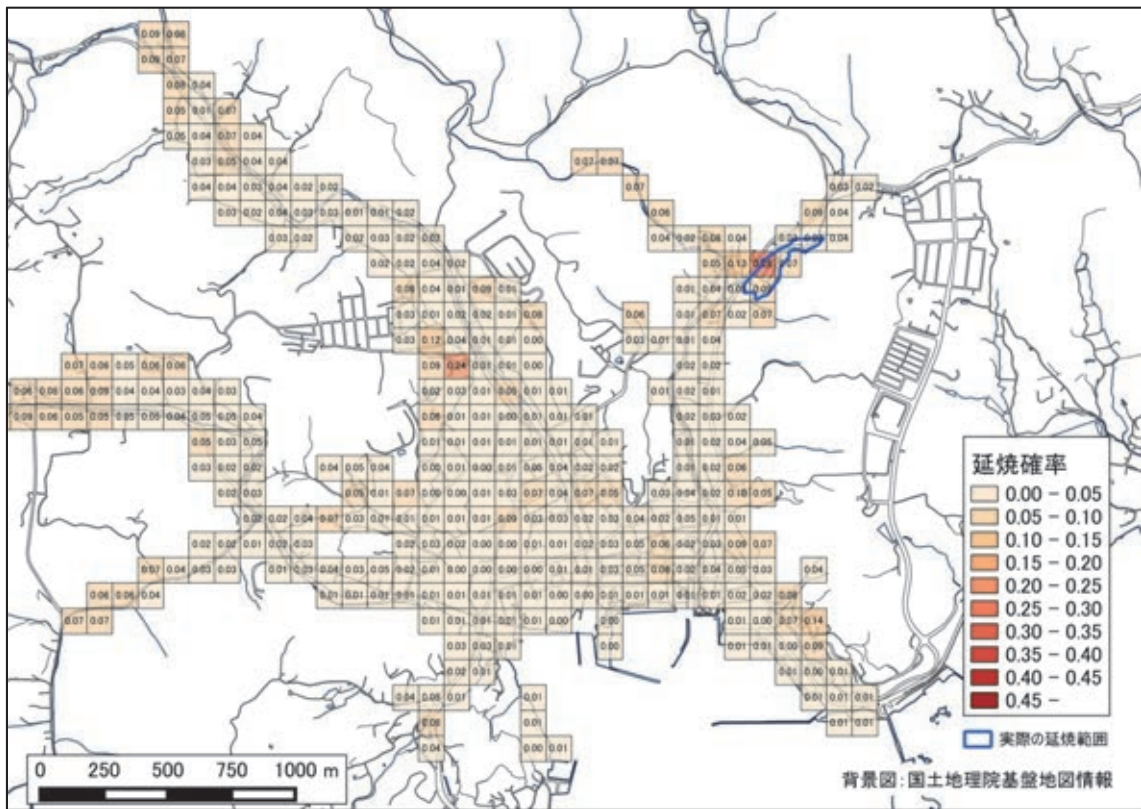


図 3.3.26 志津川地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

### 3) 感度分析

最適モデルに様々な数値を代入して、 $E[Bf]$ の感度を分析した結果を表 3.3.17 に示す。全体的に  $NHI$  の影響が大きいと云える。 $Dw$  が影響するのは、 $Dw$  が 5m 以上の大きな値となる場合に限られる。

表 3.3.17 No.16 の感度分析 ( $Bf$ 、メッシュ単位、三陸)

		Dw [m]					
		0.1	0.5	1	5	10	20
NHI [棟/100mメッシュ]	1	0.0903	0.0834	0.0755	0.0333	0.0116	0.0013
	10	0.1471	0.1366	0.1243	0.0565	0.0199	0.0023
	20	0.2417	0.2262	0.2079	0.0996	0.0362	0.0043
	40	0.5212	0.4997	0.4727	0.2743	0.1138	0.0146
	60	0.7881	0.7733	0.7538	0.5635	0.3049	0.0482
	80	0.9270	0.9210	0.9127	0.8152	0.5998	0.1475
	100	0.9775	0.9755	0.9728	0.9377	0.8366	0.3714

※影の付いたセルは分析に用いたデータの内挿域の目安



#### 4) 津波火災のなかった地区への適用 (図 3.3.28~図 3.3.31)

3.3.3 の検討を参考に、津波火災のなかった地区の代表として、野田地区、釜石地区、大船渡地区、陸前高田地区を取り上げた。野田地区、大船渡地区、陸前高田地区については、航空写真と見比べると、E[Bf]の予測値の大きいメッシュは第2章で図 2.2.1 や図 2.2.3 に示したような場所が多く、違和感はない。

図3.3.29の釜石地区については、図3.3.27の航空写真や第2章で把握したガレキ堆積状況と見比べて、図中の①、②の2カ所にガレキがあまり見当たらず、これら2カ所のE[Bf]の予測値を過大評価している可能性がある。①は堤防を挟んで浸水深の大きい市街地と不連続となっていること、②は海側の堅牢な建物が津波のエネルギーを低減した図 2.2.2 に示したような場所であることが影響していると考えられる。



図 3.3.27 釜石地区の航空写真の拡大図<sup>16)</sup>

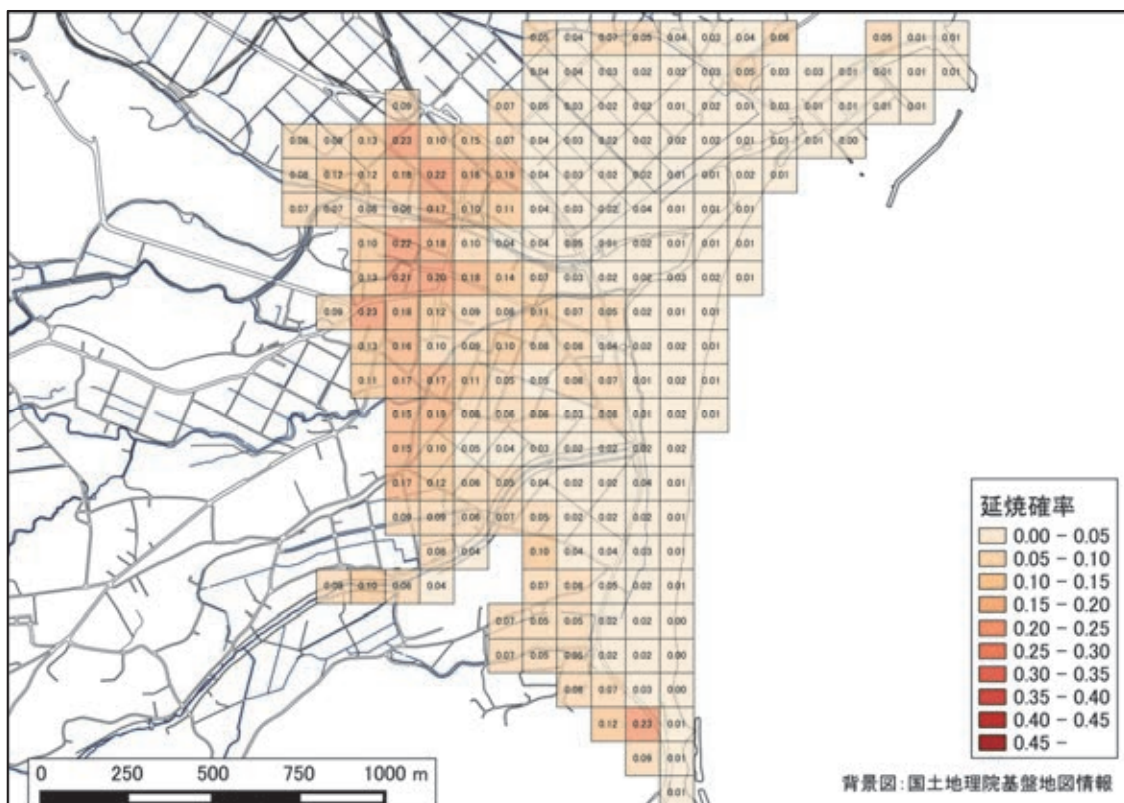


図 3.3.28 野田地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

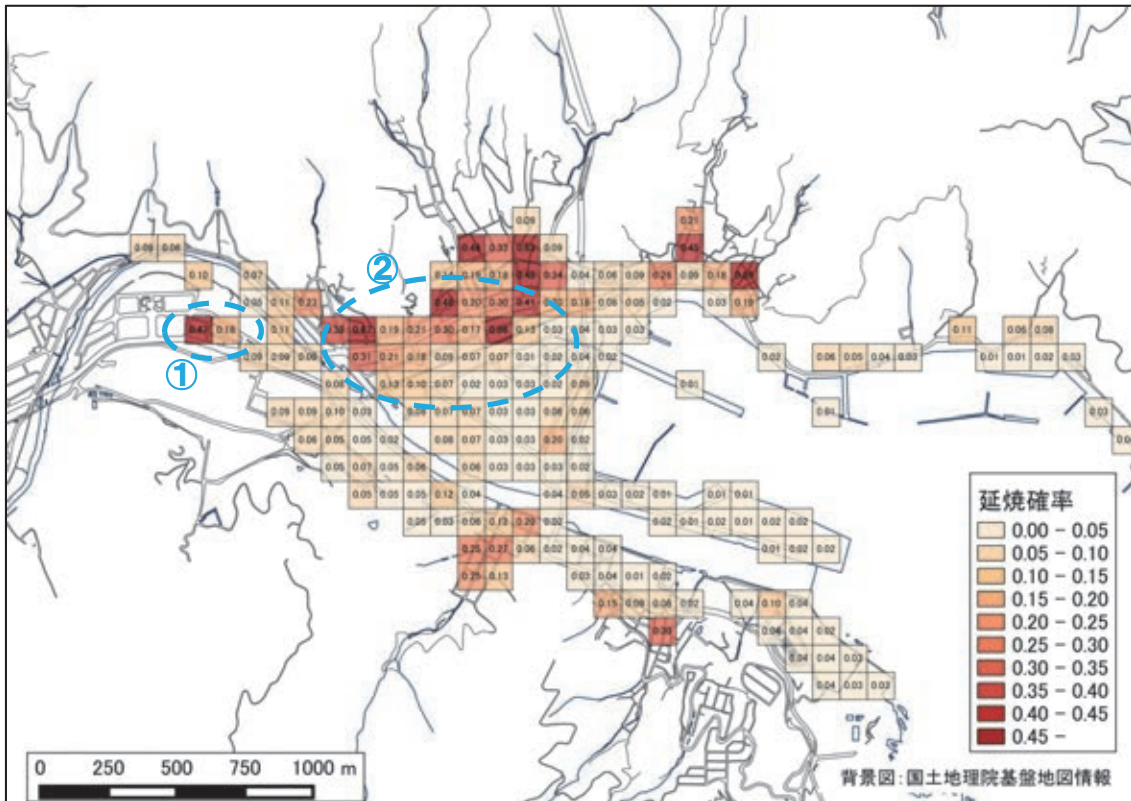


図 3.3.29 釜石地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

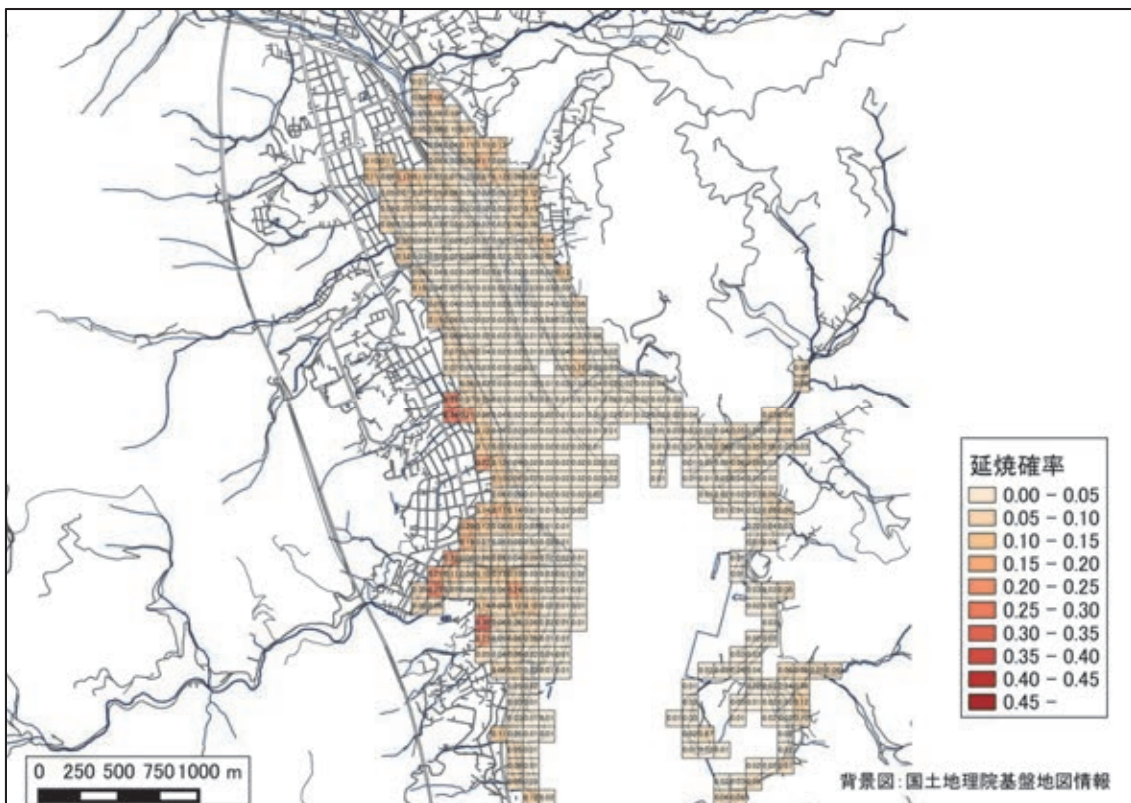


図 3.3.30 大船渡地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成



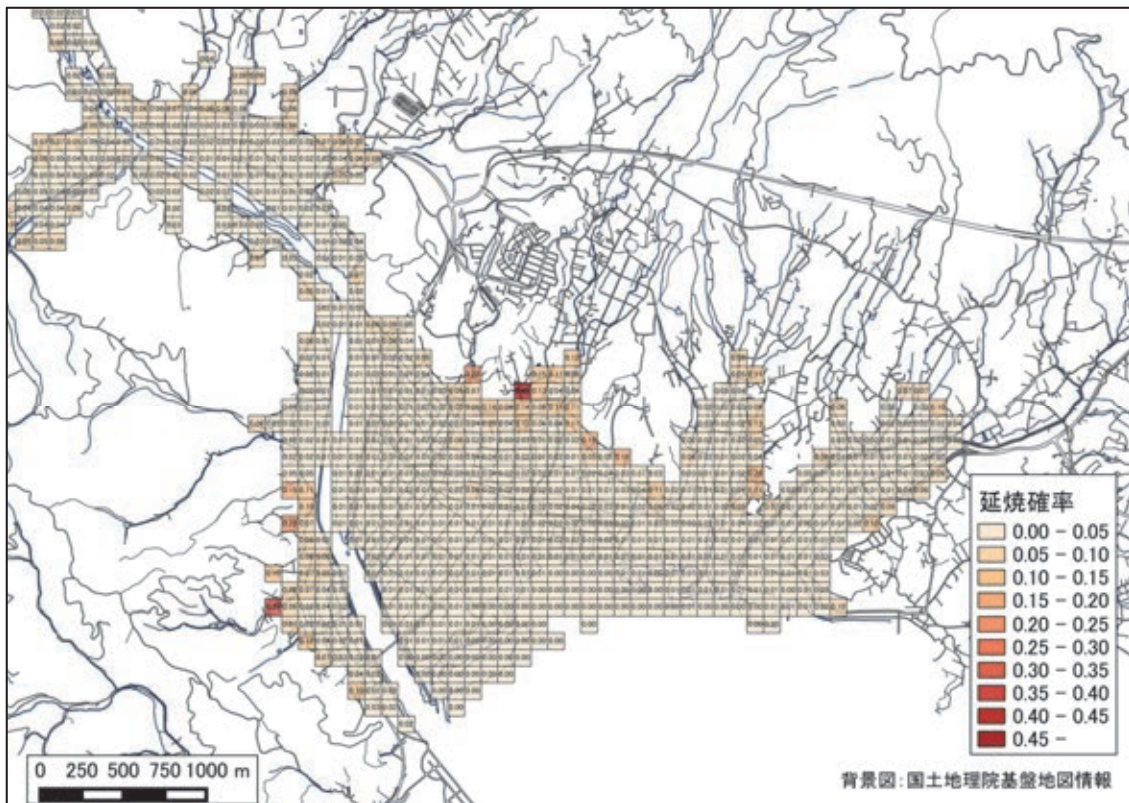


図 3.3.31 陸前高田地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

### (3) 考察

構築した回帰モデルは、E[Bf]の予測値に局所的に違和感のあるものであり、延焼確率をメッシュ単位で予測するには、浸水深の大きい市街地からの距離、堤防などによる市街地の非連続性、堅牢な建物による津波のエネルギーの低減などを考慮することが必要であることが分かった。

しかし、全体的には違和感の少ない評価の簡単な回帰モデルであり、津波火災のリスクの目安としては使う分には有用であると考えられる。

なお、アイデアとしては、モンテカルロシミュレーションにより延焼するメッシュの数とその不確実性の大きさを計算することが考えられる。しかし、ここで構築した回帰モデルはメッシュごとの延焼有無の独立性を仮定したもので、延焼の連鎖的な性質を考えていないものなので、この方法では不確実性の大きさを過小評価することになると考えられる。