

地震保険研究 29

災害科学研究会 火災部会  
平成 25・26 年度報告書

# 東北地方太平洋沖地震の事例に基づく 津波火災のリスクモデルの構築

平成 27 年 11 月

損害保険料率算出機構



## はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、広域が津波によって浸水し、多くの被害が発生した。特に被害の大きかった岩手県から福島県までの沿岸部では、津波そのものによる被害に加えて、津波火災による被害も目立った。

将来の発生が懸念される南海トラフの巨大地震では、東北地方太平洋沖地震と比べて、より広域が津波によって浸水し、より多くの被害が発生する場合が想定される。その場合、津波火災による被害が東北地方太平洋沖地震を上回る可能性も考えられる。

しかし、現時点では津波火災による被害を予測する手法が確立されているとは言いがたく、より多くの研究の蓄積が望まれる。

そこで、当機構では、津波火災による被害の予測に関する基礎的な研究として、東北地方太平洋沖地震の事例に基づくリスクモデルの構築を検討した。本報告書はこの研究結果をまとめたものである。

本報告書が津波火災のリスクに関する知見を深める上で参考となれば幸甚である。

平成 27 年 11 月

損害保険料率算出機構



## 平成 25・26 年度 災害科学研究会

委員長 菅原 進一 東京理科大学

### 火災部会 委員名簿

主査 関澤 愛 東京理科大学

副主査 北後 明彦 神戸大学

委員 越村 俊一 東北大学

樋本 圭佑 建築研究所

(委員は五十音順)

事務局 損害保険料率算出機構 リスク業務部

## 災害科学研究会火災部会の開催日および議事

回	開催日	内 容
1	平成 25 年 7 月 25 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究対象および研究方針 (関澤主査)</li> <li>・ 東北地方太平洋沖地震以前の津波火災、東北地方太平洋沖地震の津波火災に関する文献整理 (機構)</li> </ul>
2	平成 25 年 9 月 20 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 山田、大槌、石巻、気仙沼、大船渡の津波火災の記録 (調査結果・写真・証言)、津波火災に関する今後の課題 (北後副主査)</li> <li>・ 研究計画 (機構)</li> </ul>
3	平成 25 年 12 月 3 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 航空写真と航空レーザ測量データによるガレキのマッピング、建物の津波被害関数、大型船舶の挙動シミュレーションに関する研究成果 (越村委員)</li> <li>・ 研究計画 (機構)</li> </ul>
4	平成 26 年 3 月 18 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガレキ堆積状況の把握 (機構)</li> </ul>
5	平成 26 年 6 月 30 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガレキ堆積状況と津波火災の関係の考察 (機構)</li> <li>・ 事例に基づく統計的なモデルの構築 (機構)</li> </ul>
6	平成 26 年 10 月 9 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事例に基づく統計的なモデルの構築 (機構)</li> </ul>
7	平成 27 年 1 月 8 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事例に基づく統計的なモデルの構築 (機構)</li> </ul>
8	平成 27 年 3 月 5 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究の取りまとめ (機構)</li> </ul>

# 本報告書の要約

## 1. 背景および目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、広域が津波によって浸水し、多くの被害が発生した。特に被害の大きかった岩手県から福島県までの沿岸部では、津波そのものによる被害に加えて、津波火災による被害も目立った。例えば、17ヘクタールが焼失した山田町の事例や避難先の小学校が焼失した石巻市の事例、湾上で発生した気仙沼市の事例が挙げられる。

将来の発生が懸念される南海トラフの巨大地震では、東北地方太平洋沖地震と比べて、より広域が津波によって浸水し、より多くの被害が発生する場合が想定される。その場合、津波火災による被害が東北地方太平洋沖地震を上回る可能性も考えられる。

しかし、津波火災については、事例の少なさや燃える前の状況を把握することの難しさなどの制約により、十分なメカニズムの解明が進んでいない。現時点では津波火災による被害を予測する手法は確立されているとはいいがたく、より多くの研究の蓄積が望まれる。

そこで、当機構では、津波火災による被害の予測に関する基礎的な研究として、東北地方太平洋沖地震の事例に基づくリスクモデルの構築を検討した。

## 2. 研究方針

東北地方太平洋沖地震では津波浸水域の至るところで小規模な火災が発生したが、その全数を把握することができない。そこで、全数のある程度分かる、津波浸水域で発生した建物間の延焼火災に焦点を絞って、リスクモデルの構築を検討することとした。

## 3. 研究成果

東北地方太平洋沖地震の津波によるガレキ堆積状況を把握し、津波火災との関係を考察したところ、女川地区から北側の三陸海岸と石巻東地区から南側の大規模な平野部ではガレキ堆積状況が異なり、津波火災のリスクが前者と後者と異なっていたと考えられることが分かった。

そこで、東北地方太平洋沖地震の津波火災事例を三陸海岸とそれ以南の大規模な平野部で区別し、津波火災の発生確率や延焼面積などについて、回帰モデルの構築を検討した。

その結果、三陸海岸の事例について、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段階の回帰モデルが構築できた。この参考として、津波火災の発生件数の回帰モデル、地区内の津波火災のリスクの大きい場所の目安の分かる回帰モデルも構築した。実際の事例と構築したリスクモデルを比較した例を図1、図2に示す。

また、構築したリスクモデルの活用に関して、他の地震や地域に適用するための方法などを考察した。

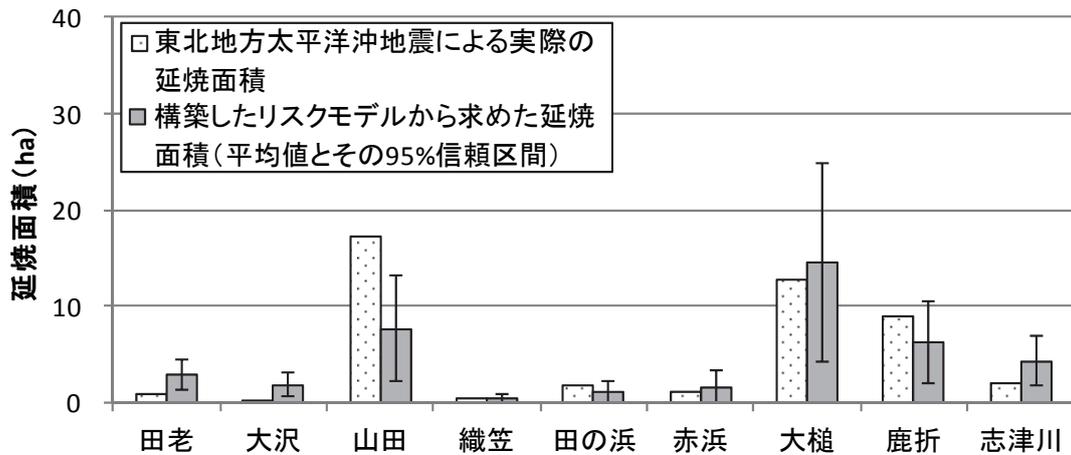


図 1 実際の事例と構築したリスクモデルの比較例  
(津波火災が発生した場合の延焼面積)



図 2 実際の事例と構築したリスクモデルの比較例  
(地区内の津波火災のリスクの大きい場所の目安、岩手県山田町)

#### 4. 今後の課題

津波火災の研究の蓄積や技術の発展に伴って、大規模な平野での再現性の良いリスクモデルや東北地方太平洋沖地震との風向・風速など条件の違いが考慮できるリスクモデルを構築する必要がある。また、湾上で発生した気仙沼市の事例や製油所で発生した仙台市の事例など本研究の対象外とした津波火災のリスクについて、その大きさを評価可能なモデルを構築する必要がある。

以上

# 目 次

第 1 章 研究の概要	1
1.1 背景および目的	1
1.2 研究の概要	1
1.2.1 研究の方針	1
1.2.2 報告書の構成	2
第 2 章 ガレキ堆積状況と津波火災との関係の考察	3
2.1 ガレキ堆積状況の把握	3
2.1.1 ガレキ堆積状況の把握方法	3
2.1.2 分析対象地区	5
2.1.3 ガレキ堆積状況の把握結果	13
2.2 ガレキ堆積状況の分類と定性的な考察	14
第 3 章 事例に基づくリスクモデルの構築	17
3.1 リスクモデルの構築方針	17
3.1.1 リスクモデルの構築方針	17
3.1.2 本研究で用いる記号・略称	19
3.1.3 本研究で用いるデータの出典	21
3.2 本研究で用いるデータの特徴	22
3.2.1 地区単位 of データ	22
3.2.2 メッシュ単位 of データ	34
3.3 リスクモデルの構築	37
3.3.1 発生確率 (地区単位)	37
3.3.2 発生件数 (地区単位)	44
3.3.3 延焼面積 (地区単位)	49
3.3.4 延焼確率 (メッシュ単位)	60
3.4 構築したリスクモデルの活用に関する考察	72
3.4.1 他の地震や地域への適用方法の提案	72
3.4.2 他の地震や地域への適用時の留意事項	72
3.4.3 津波火災の減災に向けた考察	75
第 4 章 まとめ	77
4.1 まとめ	77
4.2 今後の課題	77

参考文献	79
謝辞	81
付録	83
【付録 1】 ガレキ堆積状況の回帰分析と考察	85
【付録 2】 構築したリスクモデルの南海トラフの巨大地震への適用例	89

## 第1章 研究の概要

### 1.1 背景および目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、広域が津波によって浸水し、多くの被害が発生した。特に被害の大きかった岩手県から福島県までの沿岸部では、津波そのものによる被害に加えて、津波火災による被害も目立った<sup>1,2,3)</sup>。例えば、17ヘクタールが焼失した山田町の事例や避難先の小学校が焼失した石巻市の事例<sup>4)</sup>(二次避難して無事)、湾上で発生した気仙沼市の事例<sup>5,6)</sup>が挙げられる。津波火災については、堆積したガレキや水が消火活動や避難の支障となるため、発生時のリスクが大きい<sup>7,8)</sup>。

将来の発生が懸念される南海トラフの巨大地震では、東北地方太平洋沖地震と比べて、より広域が津波によって浸水し、より多くの被害が発生する場合が想定される<sup>9)</sup>。その場合、津波火災による被害が東北地方太平洋沖地震を上回る可能性も考えられる。

しかし、津波火災については、事例の少なさや燃える前の状況を把握することの難しさなどの制約により、十分なメカニズムの解明が進んでいない。東北地方太平洋沖地震以前の研究は個別事例の調査報告<sup>10,11)</sup>が主であり、この地震以後に津波火災による被害を予測する手法の研究事例がいくつか挙げられるものの、現時点では津波火災による被害を予測する手法は確立されているとはいいがたく、より多くの研究の蓄積が望まれる。

例えば廣井(2014)<sup>12)</sup>や西野・北後(2015)<sup>13)</sup>は津波火災の出火件数を目的変数とした回帰モデルを提案しているが、津波火災の出火件数と延焼面積の大きさとの関係などはこれからの課題で、被害の予測の検討までは行われていない。また、より被害に結びつけた研究事例としては、今津ら(2014)<sup>14)</sup>の1事例が挙げられるにとどまる。

そこで、当機構では、津波火災による被害の予測に関する基礎的な研究として、東北地方太平洋沖地震の事例に基づくリスクモデルの構築を検討した。

### 1.2 研究の概要

#### 1.2.1 研究の方針

##### (1) 研究の対象

東北地方太平洋沖地震では津波浸水域の至るところで小規模な火災が発生したが、そのメカニズムの多くが未解明である上、全数を把握することができない。そこで、全数のある程度分かる、津波浸水域で発生した建物間の延焼火災に焦点を絞って、リスクモデルの構築を検討することとした。

ただし、湾上で発生した気仙沼市の事例や製油所で発生した仙台市などの事例、3日後に発生した気仙沼市の事例については、建物間の延焼メカニズムが異なり、他の津波火災事例と同列に取扱うことができない可能性があるため、研究の対象外とした。

以下、本報告書では津波浸水域で発生する建物間の延焼火災を、津波火災と表記する。

## (2) 研究の前提とする考え方

東北地方太平洋沖地震では、①津波火災の直前の状況として、建物と建物の上にガレキが堆積し、建物同士が延焼しやすい状況になっていた様子や、②炎上したガレキが津波によって運搬される様子が映像等に記録されている。一方で、津波によって広範囲が浸水したものの、ガレキの堆積しなかった石巻市内陸部では津波火災がほとんど発生しなかった。

そこで、これまでの研究事例<sup>12,14)</sup>と同様に、「津波火災のリスクの大きさは、津波によって生じる建物などのガレキ（以下ガレキ）の量と関係する」と考える。この考えのもと、ガレキ堆積状況と津波火災との関係を検討した。

### 1.2.2 報告書の構成

本報告書の構成を以下に示す。

「第1章 研究の概要」では、本研究の背景・目的、研究の概要を示した。

「第2章 ガレキ堆積状況と津波火災との関係の考察」では、第3章の基礎的な検討として、航空写真および航空レーザ測量データなどを用いて、東北地方太平洋沖地震の津波によるガレキ堆積状況を把握し、津波火災との関係を考察した。

「第3章 事例に基づくリスクモデルの構築」では、第2章の考察に基づいて、東北地方太平洋沖地震の津波火災事例を三陸海岸とそれ以南の大規模な平野部で区別し、津波火災の発生確率や延焼面積などのリスク指標について、回帰モデルの構築を検討した。また、構築したリスクモデルについて、他の地震や地域に適用するための方法などを考察した。

「第4章 まとめ」では、第3章までのまとめを行うとともに、今後の課題を取りまとめた。

## 第2章 ガレキ堆積状況と津波火災との関係の考察

### 2.1 ガレキ堆積状況の把握

航空写真および航空レーザ測量データなどを用いて、東北地方太平洋沖地震の津波浸水域におけるガレキ堆積状況（範囲、種類、高さ）を把握した。

なお、東北地方太平洋沖地震では津波および地殻変動に伴って大規模な湛水区域が発生した<sup>15)</sup>が、航空写真や航空レーザ測量データからは水面下のガレキ堆積状況が把握できない。このため、航空写真に水面の写った地点のガレキ堆積状況は把握していない。

#### 2.1.1 ガレキ堆積状況の把握方法

##### (1) ガレキ堆積範囲の把握（航空写真の画像解析）

###### 1) 用いた航空写真

東北地方太平洋沖地震直後（3月12日～19日）に撮影された国土交通省国土地理院の航空写真（正射画像の高解像度版）のうち、岩手県、宮城県、福島県（相馬市以北）の沿岸部のデータを用いた。なお、国土交通省国土地理院 HP<sup>16)</sup>において低解像度版が公開されている。

###### 2) 航空写真の画像解析方法

ガレキ堆積範囲をまずは機械判読した。そして、この結果の目視点検を行い、機械判読により誤判定した部分を修正した。

###### ① 機械判読

福岡・越村(2013)<sup>17)</sup>を参考に行った。

なお、同文献において用いられた航空写真との地上解像度の違いなどに応じてパラメータの調整を行った。Rバンド分類(植生分類)の閾値については、航空写真の中で極端な色の違いが無い限り、航空写真の解像度ごとにほぼ同じ値を設定することができた。また、Bバンド分類(ガレキ分類)の閾値については、自動抽出するプログラムを作成して設定した。

###### ② 目視点検

1/1,000の縮尺で目視点検を行い、機械判読により誤判定した部分を修正した。

## (2) ガレキ堆積高さの把握（航空レーザ測量データの解析）

### 1) 用いた航空レーザ測量データ

東北地方太平洋沖地震のあと 2011 年 3 月～4 月にかけて測量されたオリジナル点群データ（地表物を含む高さ情報）、グラウンド点群データ（地表物を含まない高さ情報）、Digital Surface Model データ（数値表層モデルデータ、以下 DSM データ）、Digital Elevation Model データ（数値標高モデルデータ、以下 DEM データ）のうち、岩手県、宮城県、福島県（相馬市以北）の沿岸部の以下のデータを用いた。

- ・国土交通省国土地理院が管理する航空レーザ測量データ  
（オリジナル点群データ、グラウンド点群データ）
- ・宮城県が保有する「宮城県沿岸部航空計測データ」  
（オリジナル点群データ）
- ・岩手県が保有する「津波浸水区域航空測量業務委託成果品データ」  
（DSM データ、DEM データ）

### 2) 航空レーザ測量データの解析方法

福岡・越村(2013)<sup>17)</sup>を参考に、(1)で把握したガレキ堆積範囲における DSM データと DEM データの高さの差を計算することで、ガレキ堆積高さを解析した。宮城県と福島県の沿岸部については、オリジナル点群データとグラウンド点群データのそれぞれのデータを内挿することにより DSM データと DEM データを作成した。福岡・越村(2013)<sup>17)</sup>は内挿の方法として逆距離加重法 (IDW 法) を採用しているが、本研究では、岩手県のデータに準拠して不整三角形網法 (TIN 法) を採用した。

解析の中で、(1)で把握したガレキ堆積範囲の誤差の影響で建物の高さをガレキ堆積高さとして抽出する場合などがガレキ堆積高さ 5m 以上の地点に集中していることが分かった。そこで、ガレキ堆積高さ 5m 以上の地点については、これを 0m として補正した。

なお、航空写真と航空レーザ測量データには、データ取得日に数週間のズレがある。その間に、道路の啓開等に伴ってガレキの移動が生じており、誤差の要因になっていることに留意が必要である。また、航空写真の取得時点で湛水しており、その時点では水面下にガレキのあった地点については、ガレキ堆積高さの解析対象外となっていることにも留意が必要である。

## 2.1.2 分析対象地区

分析対象地区を表 2.1.1、図 2.1.1～図 2.1.8 に示す。

分析対象地区は第 3 章と共通のものとして、航空レーザ測量データを借用した岩手県、宮城県、福島県（相馬市以北）の沿岸部の中から、津波火災の発生した地区をすべてと、津波火災の発生しなかった地区をひとつの市区町村から 1 地区を目安に選定した。

さらに、浸水の状況（海岸線と浸水の向き、地表の勾配）の違いを考慮し、石巻市については旧北上川の東西で、仙台市宮城野区については南北で、分析対象地区を 2 区分した。

表 2.1.1 分析対象地区の一覧

県名	市区町村名	地区名	津波火災	県名	市区町村名	地区名	津波火災
岩手	野田村	野田	—	宮城	気仙沼市	鹿折	○
	田野畑村	田野畑	—			本吉	—
	岩泉町	岩泉	—		南三陸町	歌津	—
	宮古市	田老	○			志津川	○
		津軽石	—		女川町	女川	—
	山田町	大沢	○		石巻市	石巻東	—
		北浜町	—			石巻西	○
		山田	○		東松島市	野蒜	—
		織笠	○		松島町	松島	—
	大槌町	田の浜	○		塩釜市	塩釜	—
		吉里吉里	—		七ヶ浜町	七ヶ浜	—
		赤浜	○		仙台市 宮城野区	仙台港北	—
	大槌	○	仙台港南			○	
	釜石市	鶴住居	—		仙台市若林区	荒浜	—
		釜石	—		名取市	閑上	○
	大船渡市	越喜来	—		岩沼市	岩沼	—
大船渡		—	亘理町	亘理	—		
陸前高田市	陸前高田	—	山元町	山元	—		
福島	相馬市	相馬	—	新地町	新地	—	
				相馬	—		

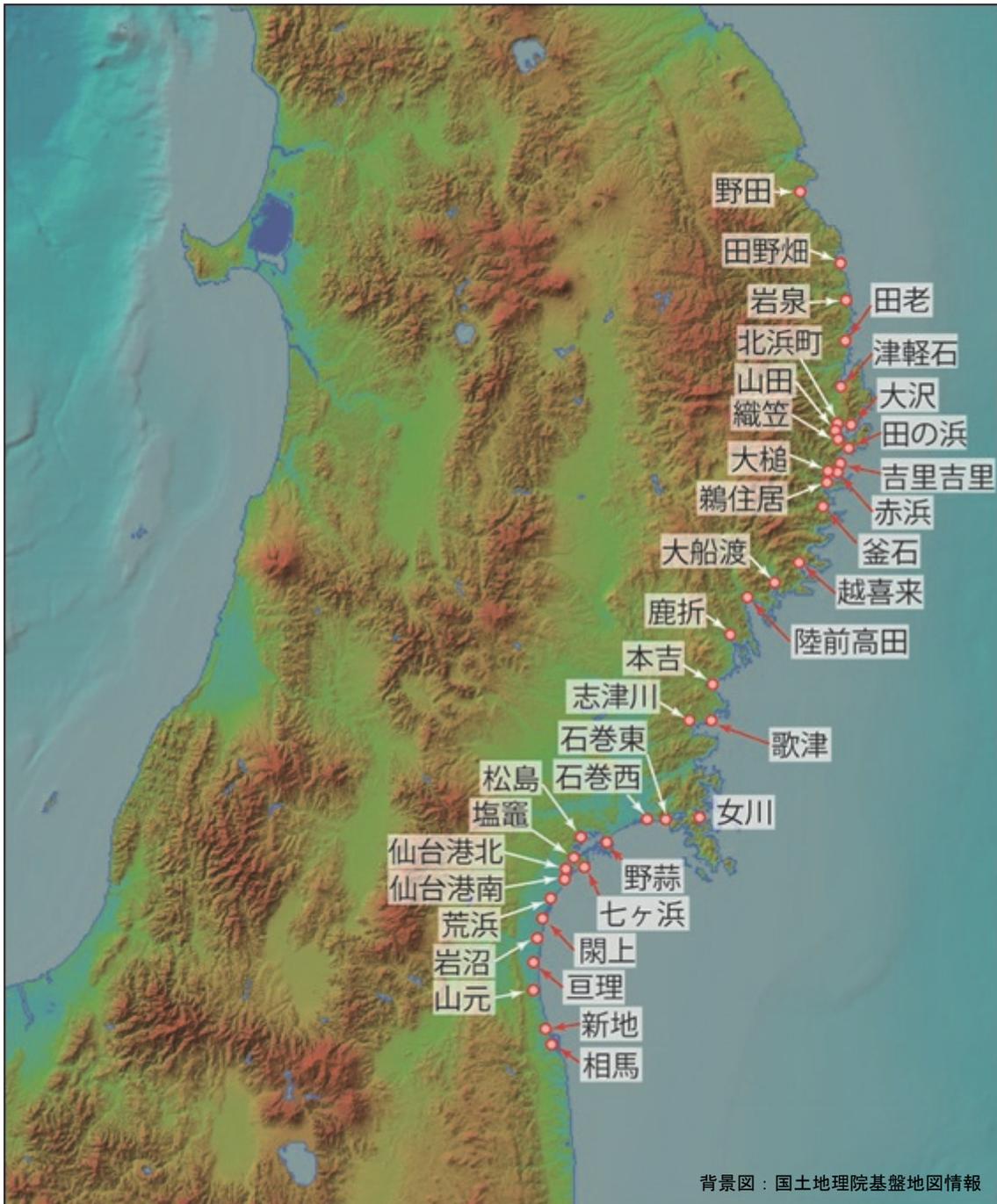


図 2.1.1 分析対象地区のおおよその場所<sup>18)</sup>をもとに作成

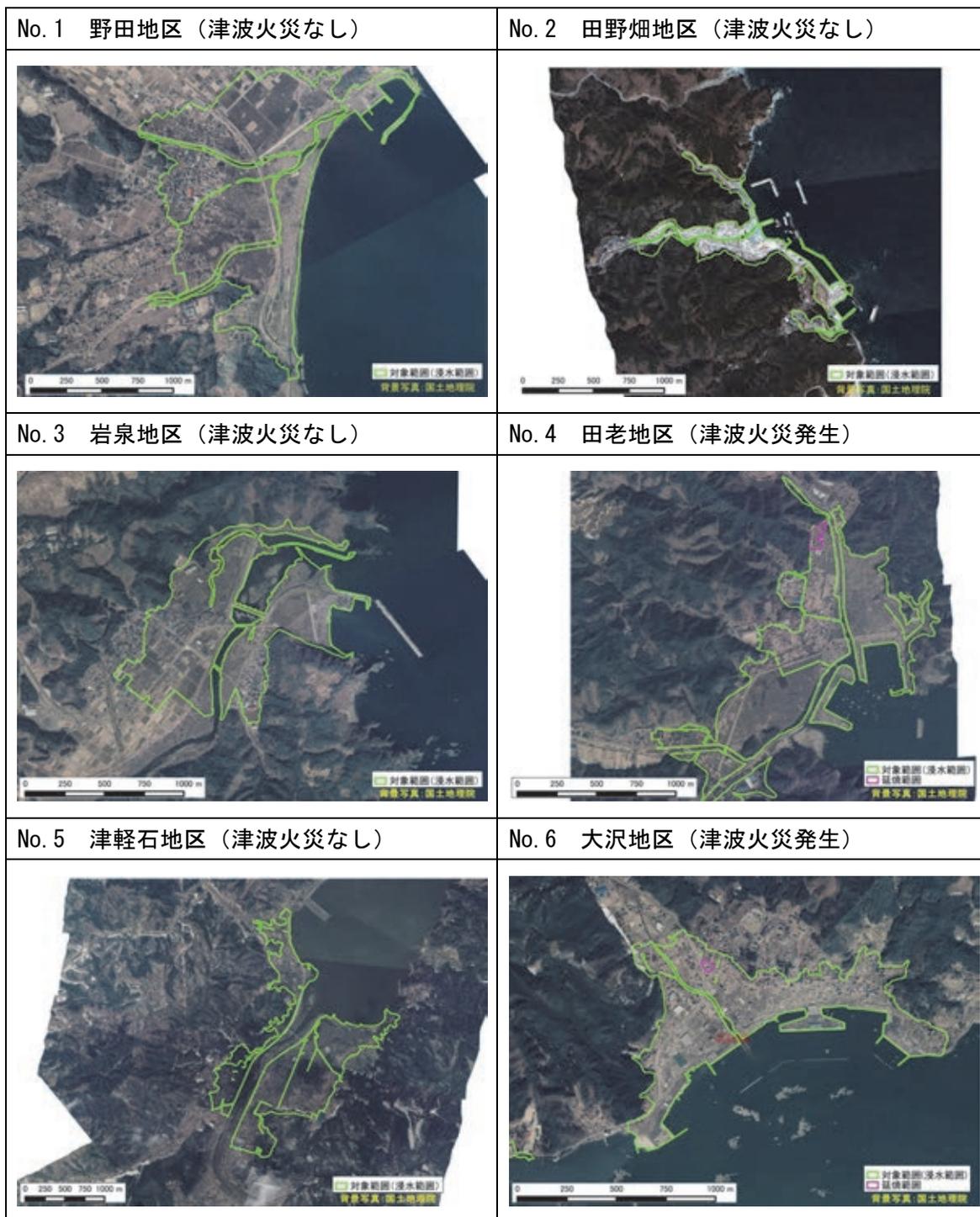


図 2.1.2 分析対象地区の範囲 (その1) 1.16)をもとに作成

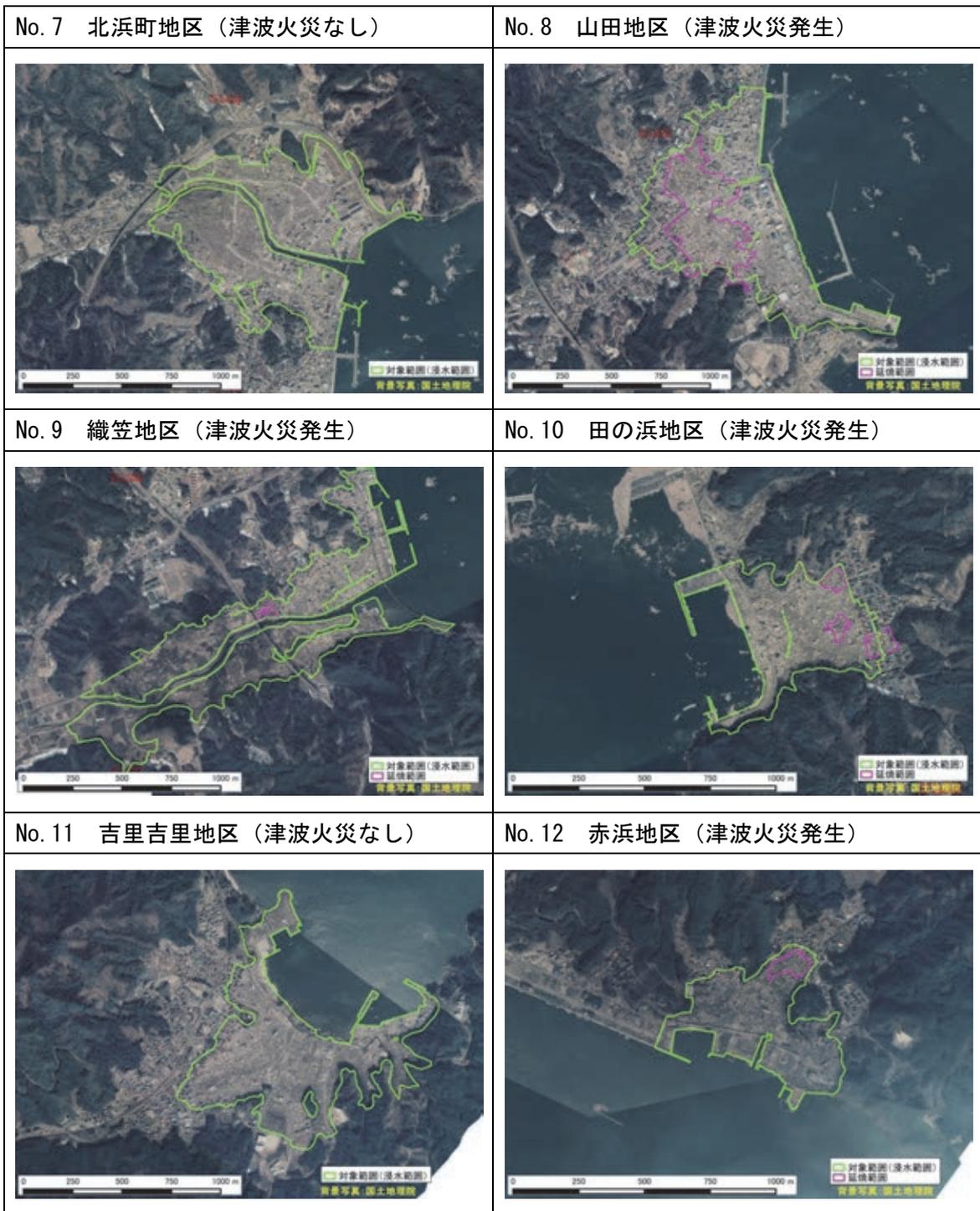


図 2.1.3 分析対象地区の範囲 (その2) 1.16)をもとに作成

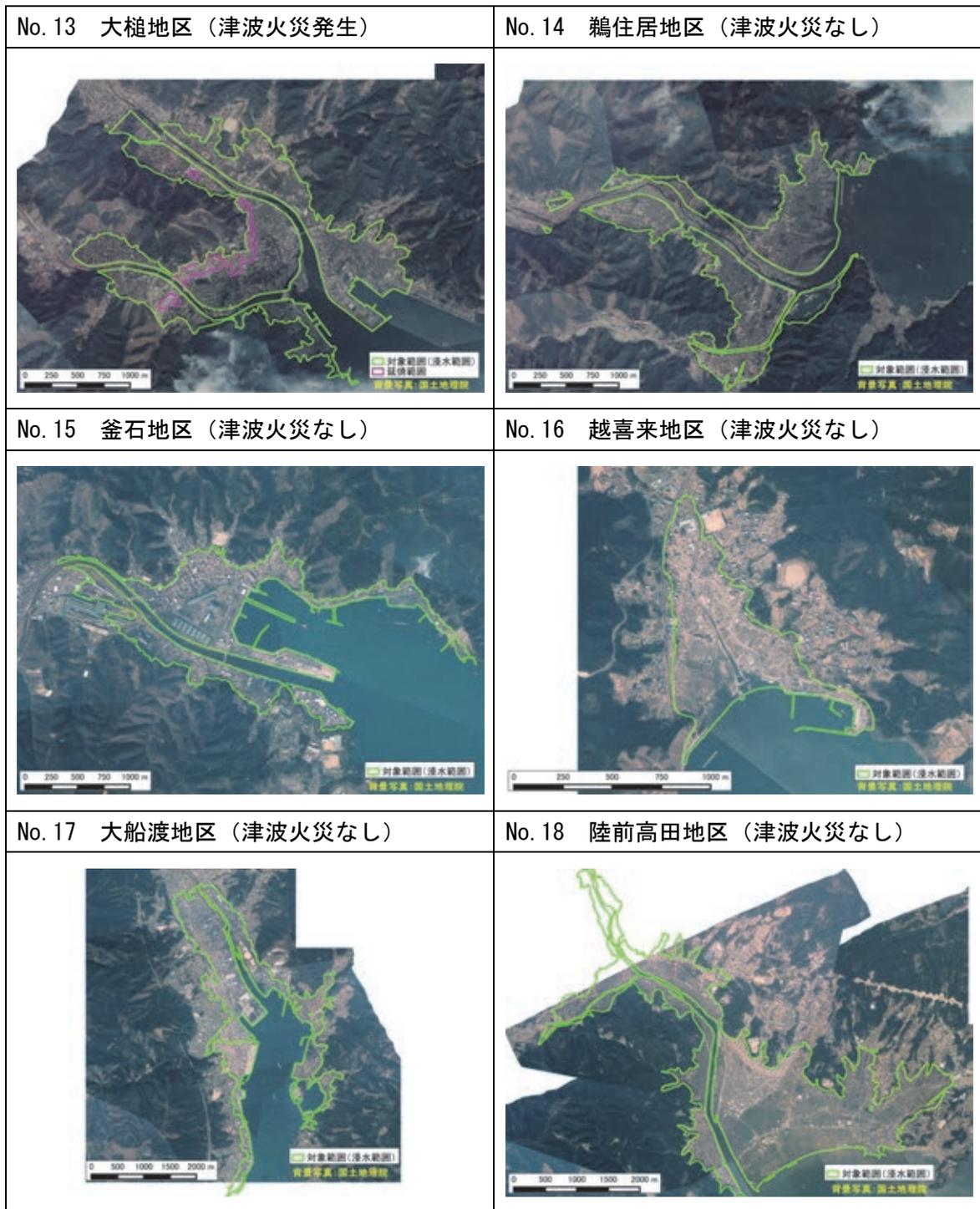


図 2.1.4 分析対象地区の範囲 (その3) 1.16) をもとに作成

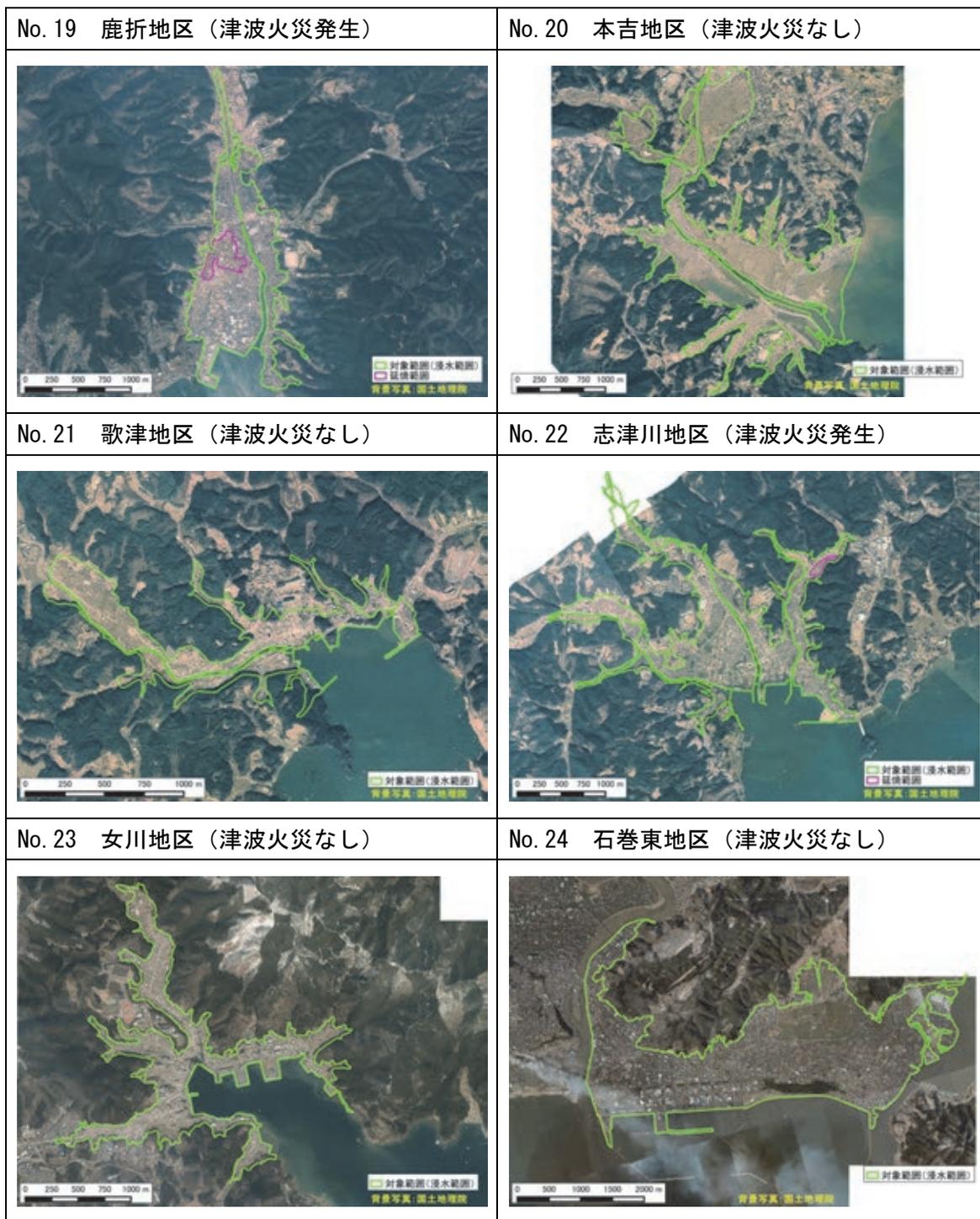


図 2.1.5 分析対象地区の範囲 (その4) <sup>1.16)</sup>をもとに作成

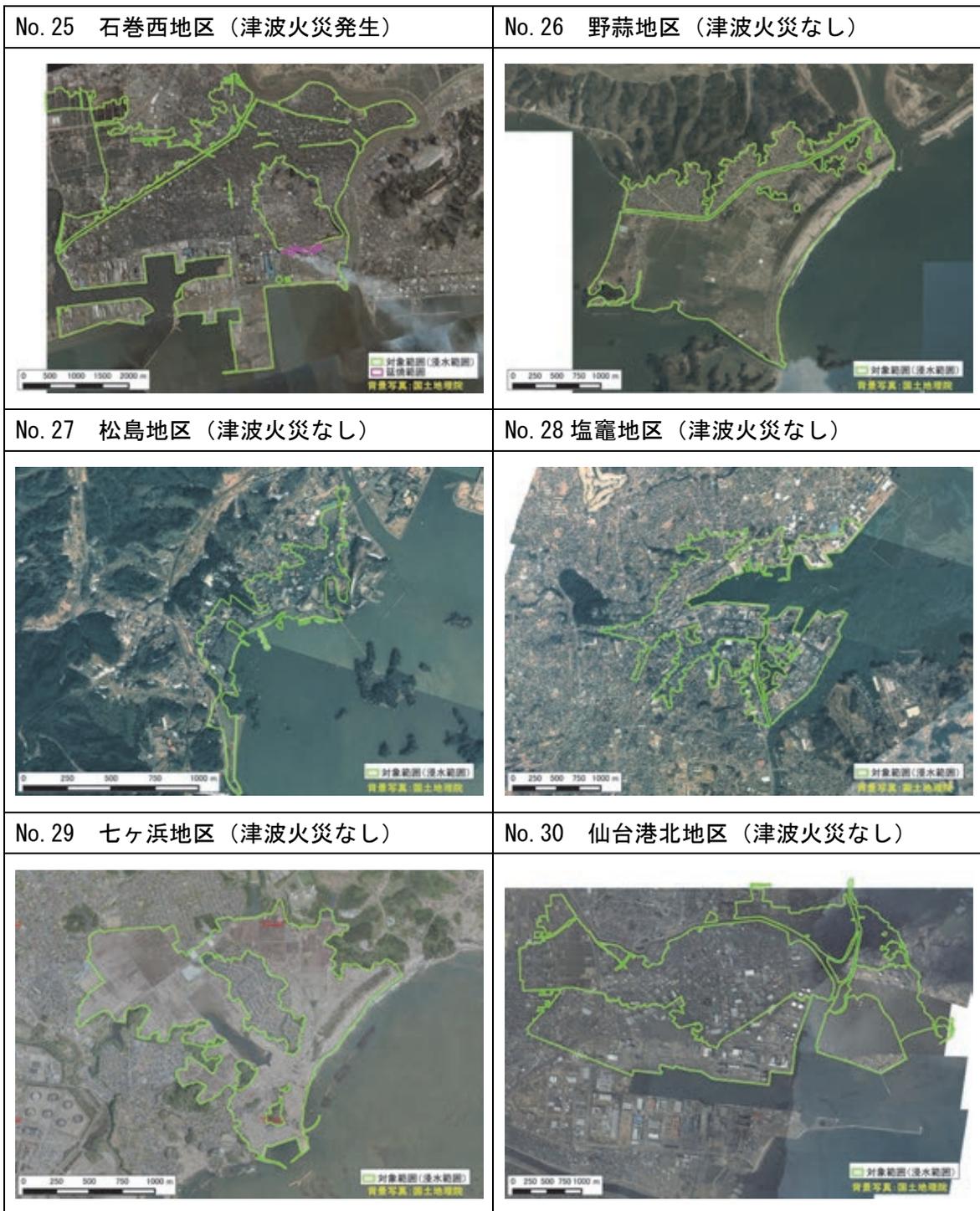


図 2.1.6 分析対象地区の範囲 (その5) 1.16) をもとに作成

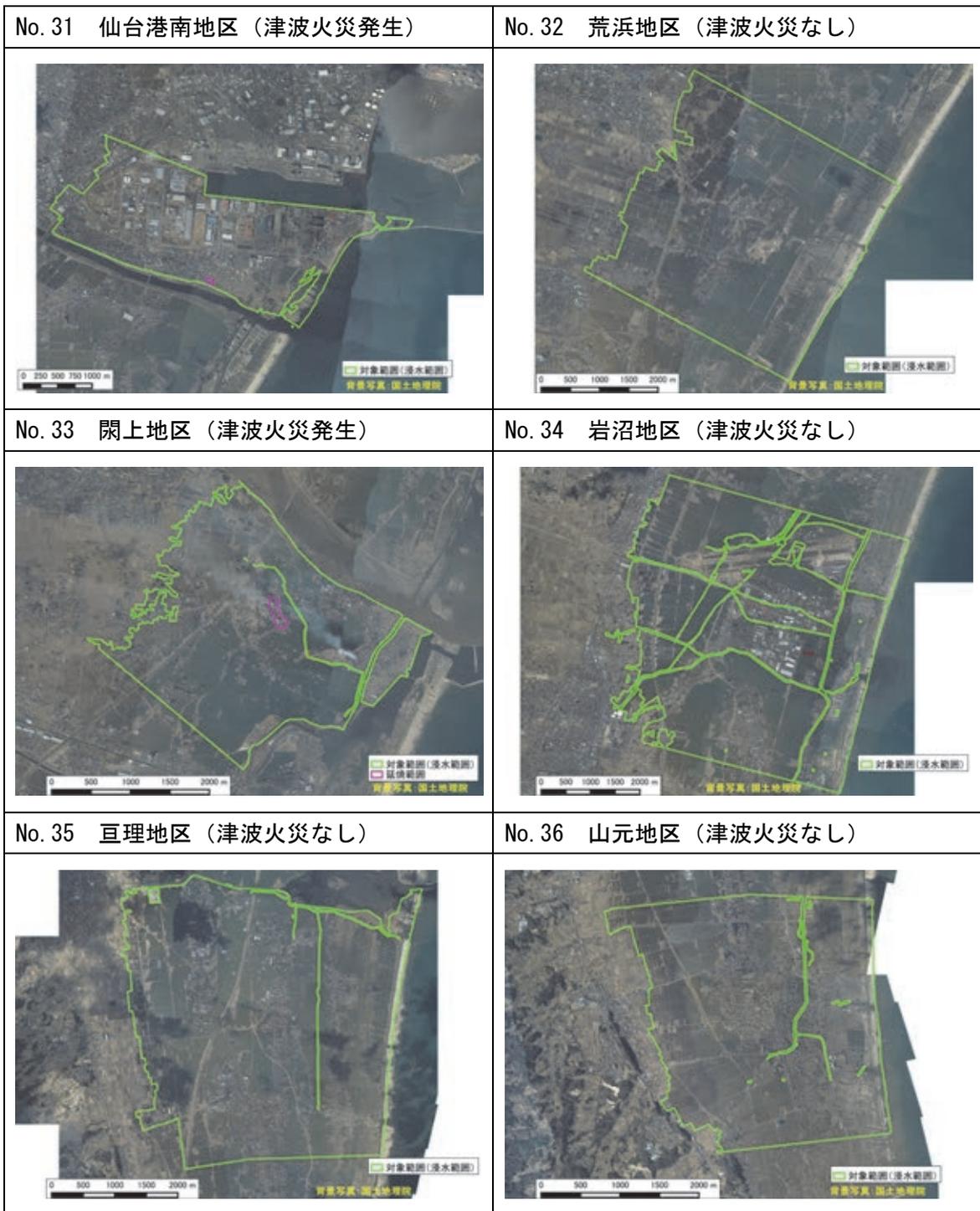


図 2.1.7 分析対象地区の範囲 (その6) 1.16)をもとに作成

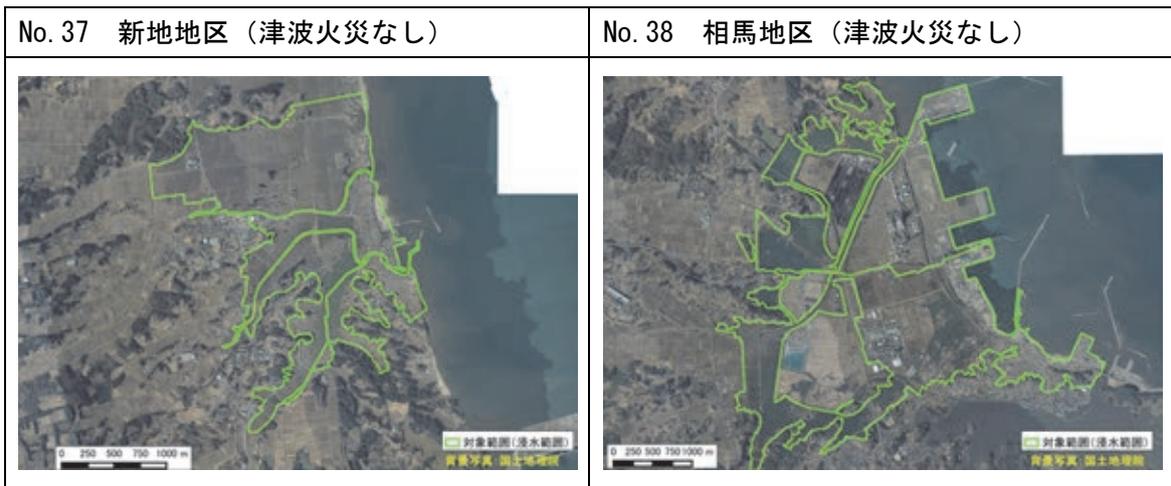


図 2.1.8 分析対象地区の範囲（その7） 1.16)をもとに作成

### 2.1.3 ガレキ堆積状況の把握結果

結果を図 2.1.9 に示す。地区によって分析対象地区の大きさが異なるため、ガレキの堆積高さを分析対象地区の全体の面積で除した平均堆積高さとして示す。

結果を見ると、女川地区から北側の三陸海岸では、石巻東地区から南側の大規模な平野部よりもガレキの平均堆積高さが高く、両者で様相が異なる。実際に津波火災の発生した地区も前者に偏っており、津波火災のリスクの大きさが前者と後者と異なっていたと考えられる。分析対象地区に占める水田や田畑の割合の違いや津波の高さの違いが関係しているものと推察される。この結果に基づいて、第3章では、前者と後者で分析対象地区を区別し、それぞれの分類ごとにリスクモデルの構築を目指すこととする。

なお、実際に津波火災の発生した地区については、津波火災の発生しなかった周辺の地区よりもガレキの平均堆積高さが高いように見える。また、津波火災の延焼範囲の大きかった地区についてはガレキの焼失の影響を含むこと、特に石巻東地区から南側については航空写真に水面の写った地点のガレキ堆積状況を把握しなかった影響を含むこと、ガレキだけでなくヘドロなども含んだ高さであることに留意が必要である。

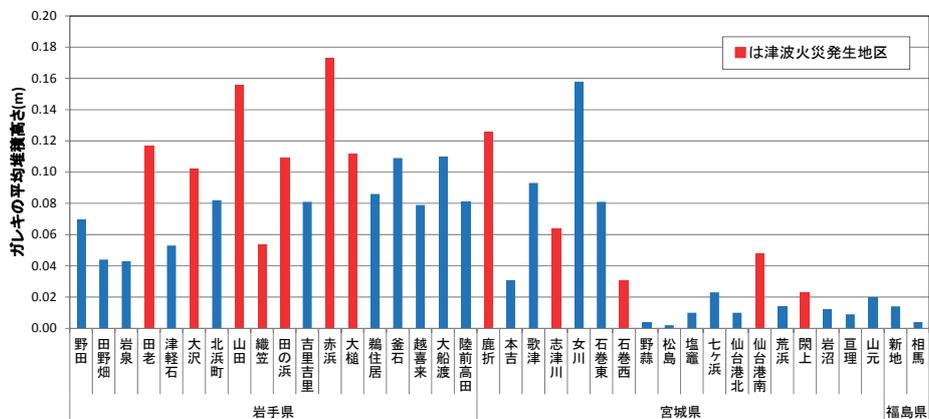


図 2.1.9 ガレキの平均堆積高さ

## 2.2 ガレキ堆積状況の分類と定性的な考察

ガレキ堆積状況を観察して分類し、分類ごとに津波火災との関係を定性的に考察した。

### (1) 浸水深の大きい市街地のすぐ背後の浸水深の小さい市街地

#### 1) 浸水深の大きい市街地に含まれる住宅の割合が高い場合（例：図 2.2.1）

建物の多くが流失を免れた最大浸水深 2m 以下の範囲と、ガレキの多く堆積する最大浸水深 2～4m の範囲が、ガレキで連続的に広がる。山田地区や鹿折地区など同様の複数の場所で津波火災が発生したと考えられるため、このような場所の津波火災のリスクは大きいと考えられる。

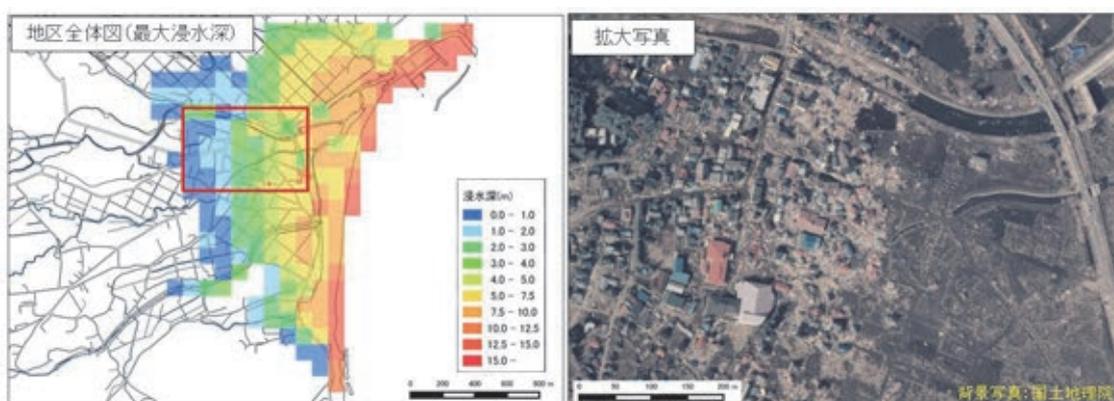


図 2.2.1 野田地区 16, 18, 19) をもとに作成

#### 2) 浸水深の大きい市街地に含まれる住宅の割合が低い場合（例：図 2.2.2）

1) と比べて、ガレキが少なく、建物とガレキの連続性が弱く、1) よりは津波火災のリスクは小さいと考えられる。

なお、例示した場所については、元々の市街地が比較的密集した住宅地で、火災が発生した場合に広く延焼するリスクの考えられる場所なので、仮に津波火災が発生する確率は低くても、発生した場合のリスクは大きいと考えられる。

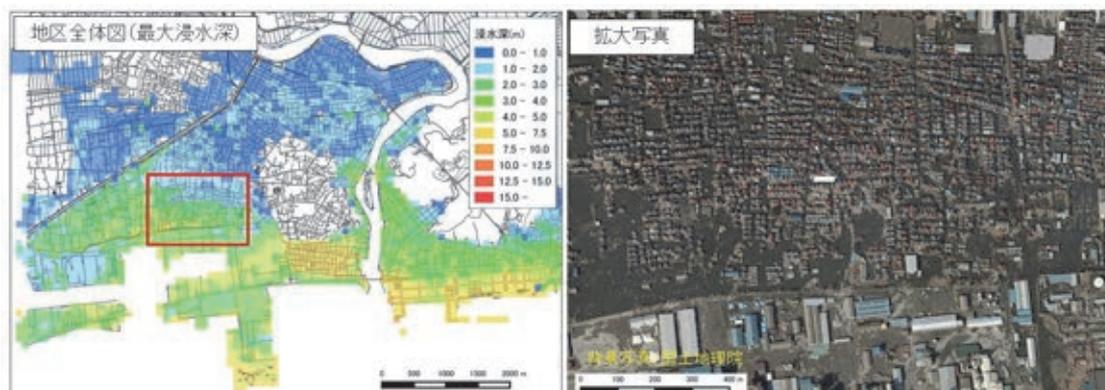


図 2.2.2 石巻西地区（南西部） 16, 18, 19) をもとに作成

(2) 浸水深の大きい市街地のすぐ背後の山際（例：図 2.2.3）

ガレキ、流失を免れた建物が山際に混在している。石巻西地区や大槌地区など同様の複数の場所で津波火災が発生したと考えられるため、このような場所の津波火災のリスクは大きいと考えられる。

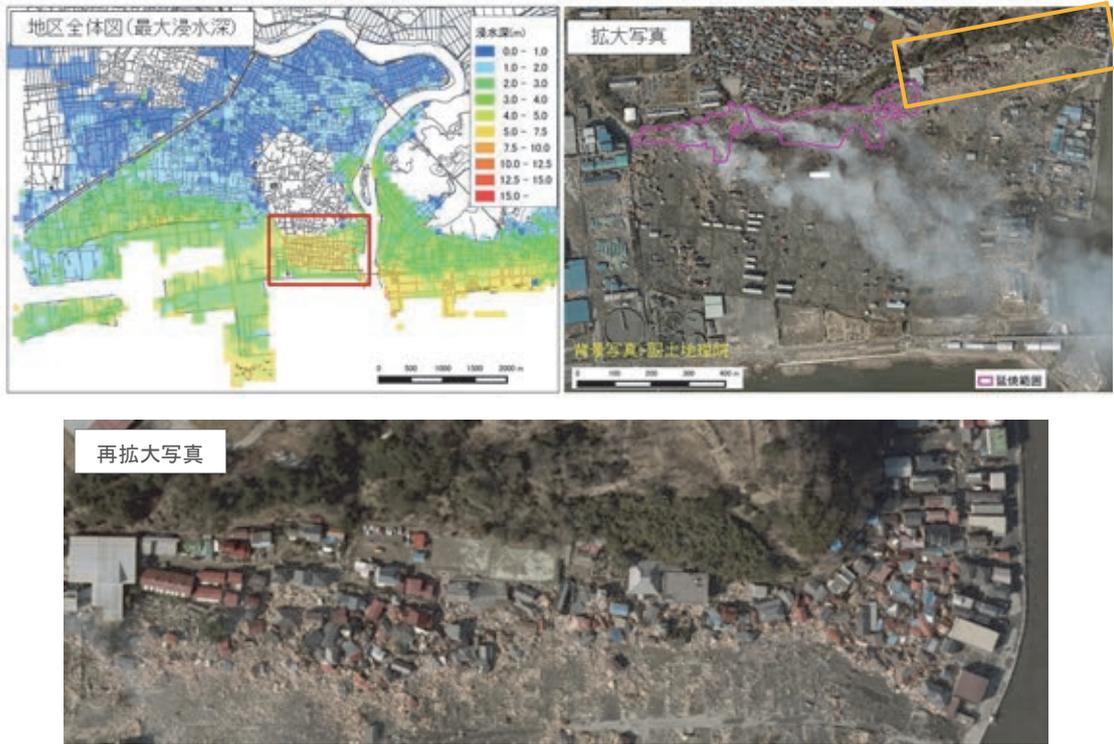


図 2.2.3 石巻西地区（南東部） 16, 18, 19)をもとに作成

(3) 浸水深の大きい市街地の背後の開けた場所（例：図 2.2.4）

ガレキが広い範囲に低く堆積している。閉上地区では同様の場所で津波火災が発生したと考えられるが、荒浜地区から南側の同様な場所の広がり比べて津波火災の事例は少なく、(1)や(2)より津波火災のリスクは小さいと考えられる。

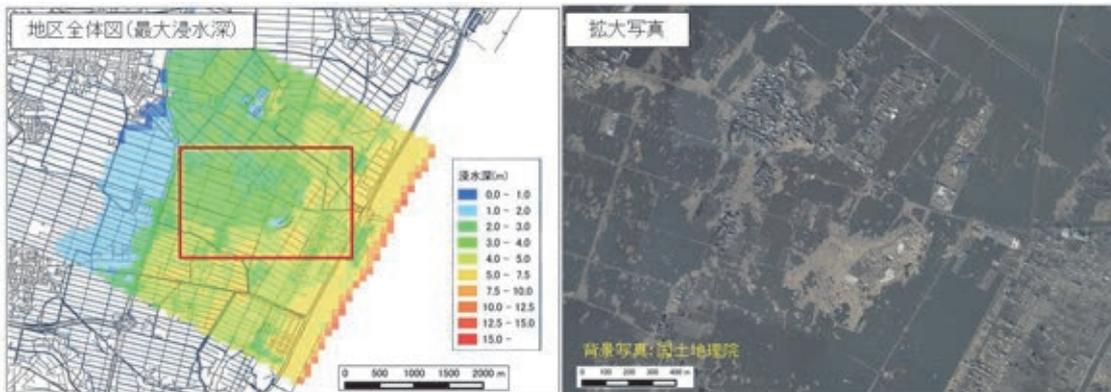


図 2.2.4 荒浜地区 16, 18, 19)をもとに作成

(4) 全域の浸水深が大きい場所（例：図 2.2.5）

山沿いにガレキが高く堆積する場所が広がる。その中には、流失を免れた建物はあまり見られない。同様の場所は複数見られるが、津波火災が発生したと考えられる事例はなく、(1)や(2)より津波火災のリスクは小さいと考えられる。

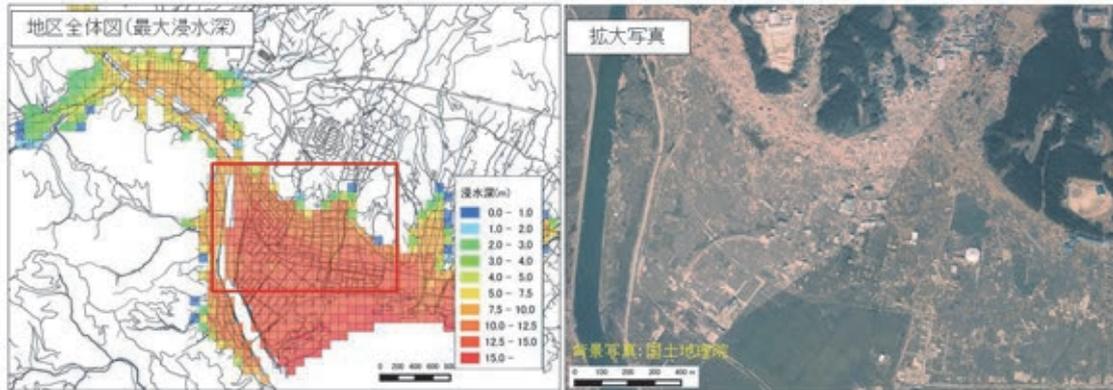


図 2.2.5 陸前高田地区 16, 18, 19)をもとに作成

(5) 浸水深の大きい市街地から離れた市街地（例：図 2.2.6）

ガレキは見られず、ガレキと関係した津波火災のリスクは相応に小さいと考えられる。

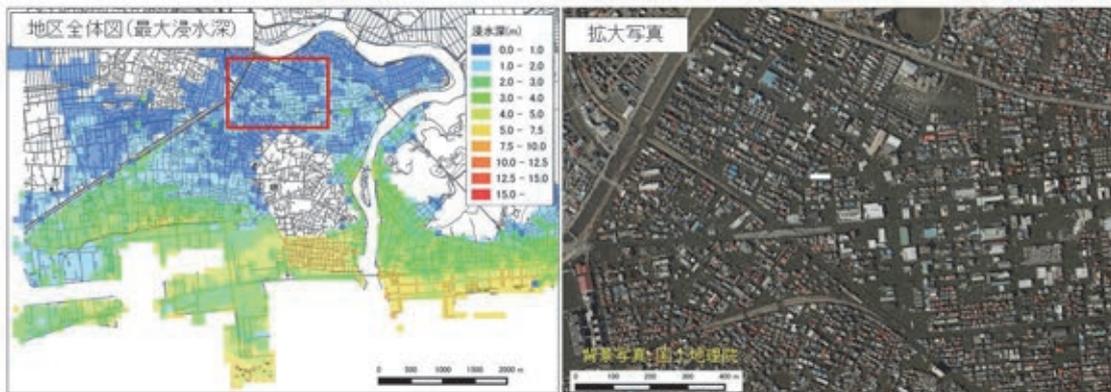


図 2.2.6 石巻西地区（北東部） 16, 18, 19)をもとに作成

## 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。

## 3.2 本研究で用いるデータの特徴

### 3.2.1 地区単位のデータ

#### (1) 三陸

用いるデータを表 3.2.1 に示す。

また、変数同士の相関関係およびデータの分布図とその特徴を以下に示す。津波火災ありの地区だけで9地区あるため、全地区で見た場合と津波火災ありの地区に限定して見た場合の2つを示す。

#### 1) 全地区で見た場合 (表 3.2.2~表 3.2.4、図 3.2.1~図 3.2.3)

主な特徴は次のとおり。

- ・  $Bf$  と  $Nf$  については説明変数の候補の中に相関の強いものはない。
- ・  $Af$  と  $NH2/Aw$  の相関が強い。
- ・  $NH1/Aw$  もしくは  $(NH1-NH2)/Aw$  の大きい側に  $Bf$  が 1 の地区が、 $NH1/Aw$  もしくは  $(NH1-NH2)/Aw$  の小さい側に  $Bf$  が 0 の地区が偏って分布している。

#### 2) 津波火災ありの地区に限定して見た場合 (表 3.2.5~表 3.2.7、図 3.2.4~図 3.2.6)

主な特徴は次のとおり。

- ・ 全地区で見た場合と比べて、 $Af$  と  $NH2$  の強い相関が見えるようになった。分布図を見ても、 $Af$  を考えるには、津波火災ありの地区に限定する見方がやはり有効であると考えられる。

#### (2) 平野

用いるデータを表 3.2.8 に示す。

また、変数同士の相関関係およびデータの分布図を表 3.2.9~表 3.2.11、図 3.2.7~図 3.2.9 に示す。これらの主な特徴は次のとおり。

- ・ 説明変数の候補の中に、 $Bf$ 、 $Nf$ 、 $Af$  と相関の強いものはない。また、データの分布図を見ても、 $Bf$ 、 $Nf$ 、 $Af$  との傾向は見られない。

表 3.2.1 地区単位のデータ (三陸)

地区名		地形区分	津波火災			津波浸水域の建物棟数			津波浸水域			
県	市区町村		有無 Bf [0, 1]	件数 Nf [件]	延焼面積 Af [m <sup>2</sup> ]	地震前 NH1 [棟]	津波来襲直後(延焼前, 推定値) NH2 [棟]	延焼範囲内 流失扱い	延焼範囲内 焼失扱い	延焼範囲内 被害関係	浸水面積 Aw [m <sup>2</sup> ]	最大浸水深 の平均値 Dw [m]
岩手	野田村	三陸	0	0	0	1,062	532	537	532	532	1,684,787	5.40
	田野畑村	三陸	0	0	0	276	78	78	78	78	323,178	9.38
	岩泉町	三陸	0	0	0	524	193	193	193	193	888,602	6.61
	宮古市	三陸	1	1	10,418	1,770	285	333	285	321	1,003,375	4.78
	津軽石	三陸	0	0	0	2,086	941	941	941	941	2,002,537	3.75
	山田町	三陸	1	1	2,428	939	270	272	272	271	576,224	2.60
	北浜町	三陸	0	0	0	685	237	237	237	237	703,530	2.00
	山田	三陸	1	2	173,715	1,929	505	1,086	505	874	630,355	3.00
	織笠	三陸	1	1	4,038	729	107	121	107	116	667,367	2.60
	田の浜	三陸	1	3	18,987	527	70	126	70	104	224,083	6.00
	大槌町	三陸	0	0	0	906	206	206	206	206	598,833	7.97
	吉里吉里	三陸	1	1	11,183	477	50	104	50	82	205,812	8.34
	赤浜	三陸	1	6	127,997	5,330	1,301	1,734	449	1,515	2,656,513	6.14
	釜石市	三陸	0	0	0	1,966	449	449	449	449	1,811,579	6.85
大船渡市	三陸	0	0	0	2,708	1,111	1,111	1,111	1,111	1,767,792	5.20	
宮城	越喜来	三陸	0	0	0	399	77	77	77	77	482,471	5.12
	大船渡	三陸	0	0	0	5,294	2,404	2,412	2,404	2,404	4,355,010	5.45
	陸前高田市	三陸	0	0	0	5,720	835	835	835	835	7,817,903	9.10
	気仙沼市	三陸	1	3	89,266	2,279	610	836	610	704	1,302,380	4.10
	本吉	三陸	0	0	0	708	188	188	188	188	3,112,621	9.08
	歌津	三陸	0	0	0	561	72	72	72	72	680,519	4.76
	志津川	三陸	1	1	21,772	3,025	387	471	387	411	2,592,985	7.05
	女川町	三陸	0	0	0	3,054	263	263	263	263	1,518,385	10.60

表 3.2.2 相関行列（地区単位の詳細、流失扱い、三陸、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.72	0.55	0.01	-0.13	0.07	0.66	0.25	0.68	-0.26	-0.33
Nf		1.00	0.75	0.29	0.15	0.32	0.58	0.35	0.55	-0.08	-0.18
Af			1.00	0.28	0.18	0.29	0.65	0.60	0.55	-0.06	-0.26
NH1				1.00	0.80	0.97	0.12	0.26	0.06	0.80	0.18
NH2					1.00	0.61	0.04	0.54	-0.13	0.58	-0.10
NH1/NH2						1.00	0.15	0.11	0.13	0.80	0.28
NH1/Aw							1.00	0.59	0.97	-0.32	-0.14
NH2/Aw								1.00	0.36	-0.12	-0.49
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.33	-0.01
Aw										1.00	0.32
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

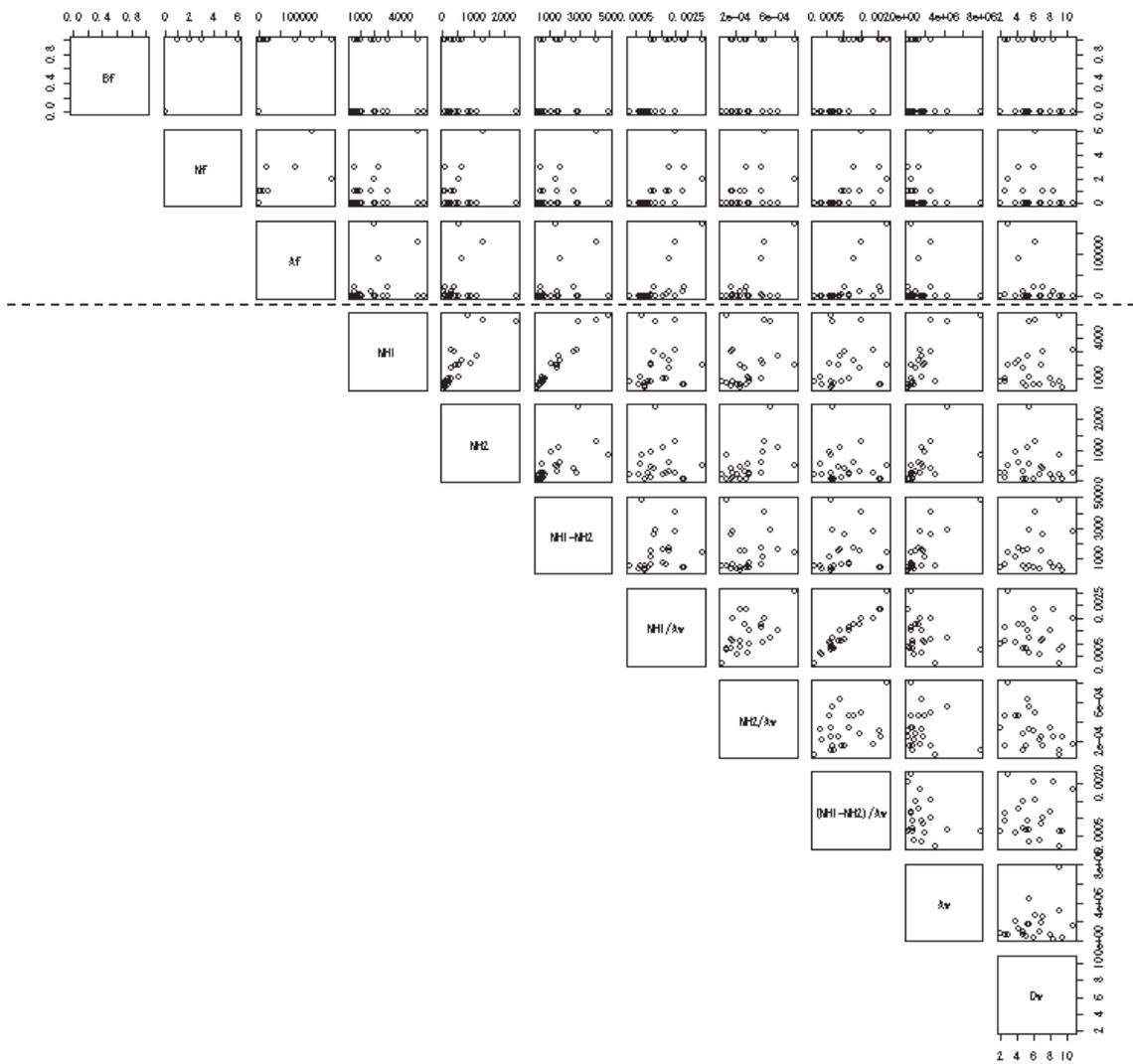


図 3.2.1 データの分布（地区単位の詳細、流失扱い、三陸、全地区）

表 3.2.3 相関行列（地区単位の詳細、焼失扱い、三陸、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.72	0.55	0.01	0.02	0.01	0.66	0.44	0.63	-0.26	-0.33
Nf		1.00	0.75	0.29	0.33	0.24	0.58	0.45	0.50	-0.08	-0.18
Af			1.00	0.28	0.42	0.17	0.65	0.81	0.34	-0.06	-0.26
NH1				1.00	0.81	0.96	0.12	0.14	0.08	0.80	0.18
NH2					1.00	0.61	0.20	0.46	-0.05	0.52	-0.15
NH1/NH2						1.00	0.07	-0.03	0.12	0.83	0.31
NH1/Aw							1.00	0.76	0.88	-0.32	-0.14
NH2/Aw								1.00	0.37	-0.19	-0.40
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.32	0.09
Aw										1.00	0.32
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。



図 3.2.2 データの分布（地区単位の詳細、焼失扱い、三陸、全地区）

表 3.2.4 相関行列（地区単位の詳細、被害関数、三陸、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.72	0.55	0.01	-0.05	0.04	0.66	0.39	0.67	-0.26	-0.33
Nf		1.00	0.75	0.29	0.25	0.28	0.58	0.42	0.54	-0.08	-0.18
Af			1.00	0.28	0.32	0.22	0.65	0.77	0.44	-0.06	-0.26
NH1				1.00	0.81	0.96	0.12	0.17	0.07	0.80	0.18
NH2					1.00	0.62	0.14	0.46	-0.06	0.55	-0.13
NH1/NH2						1.00	0.10	0.01	0.13	0.82	0.30
NH1/Aw							1.00	0.73	0.93	-0.32	-0.14
NH2/Aw								1.00	0.43	-0.17	-0.43
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.32	0.05
Aw										1.00	0.32
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

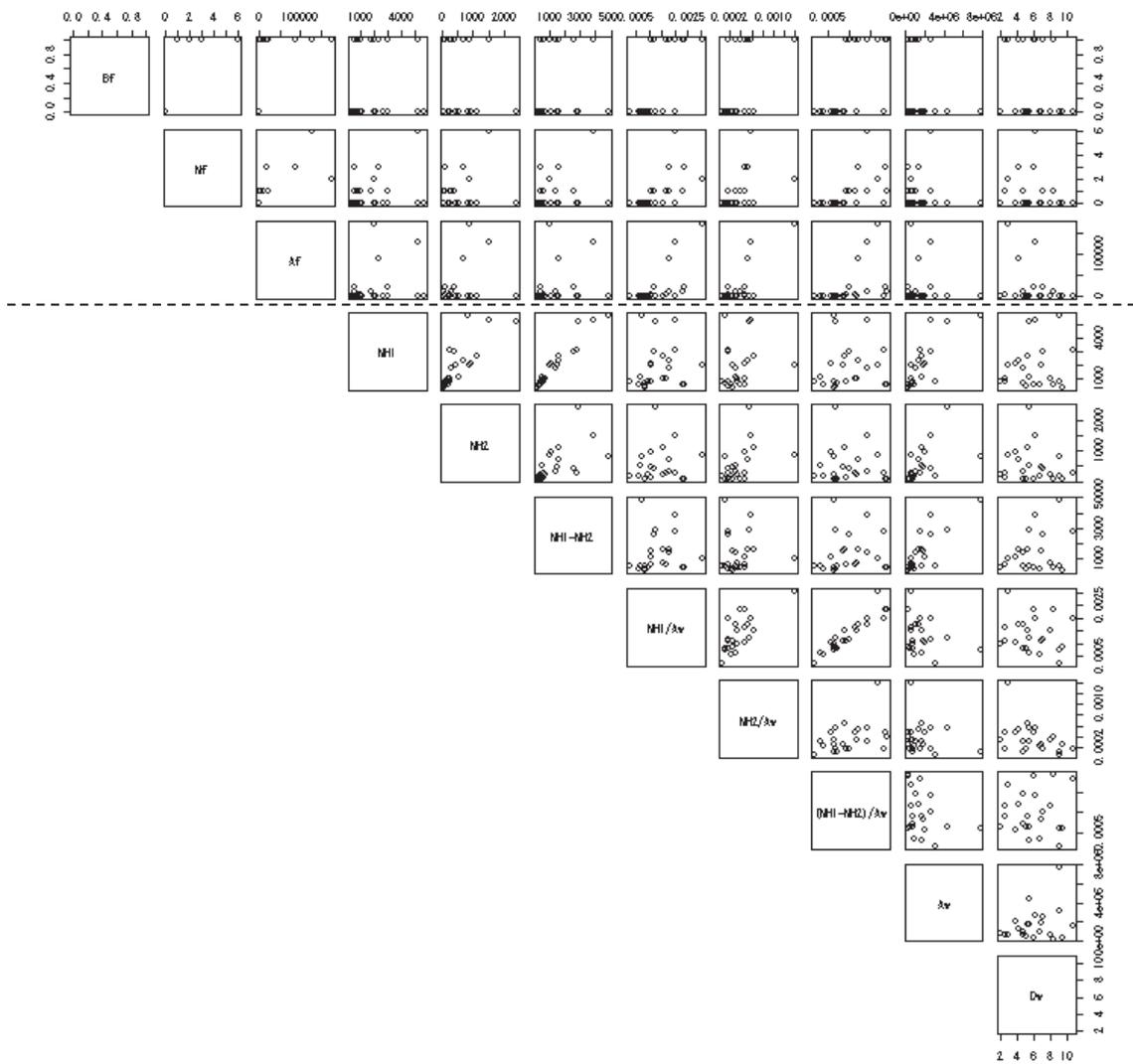


図 3.2.3 データの分布（地区単位の詳細、被害関数、三陸、全地区）

表 3.2.5 相関行列（地区単位のデータ、流失扱い、三陸、津波火災ありの地区）

	Nf	Af	Af/Aw	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Nf	1.00	0.61	0.17	0.73	0.83	0.67	0.27	0.38	0.18	0.48	0.16
Af		1.00	0.79	0.58	0.71	0.52	0.61	0.84	0.42	0.30	-0.17
Af/Aw			1.00	0.01	0.14	-0.04	0.85	0.80	0.74	-0.24	-0.20
NH1				1.00	0.95	0.99	-0.06	0.25	-0.18	0.91	0.19
NH2					1.00	0.91	0.10	0.47	-0.07	0.75	0.02
NH1-NH2						1.00	-0.11	0.17	-0.21	0.94	0.24
NH1/Aw							1.00	0.72	0.96	-0.38	0.09
NH2/Aw								1.00	0.49	-0.07	-0.43
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.45	0.29
Aw										1.00	0.26
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

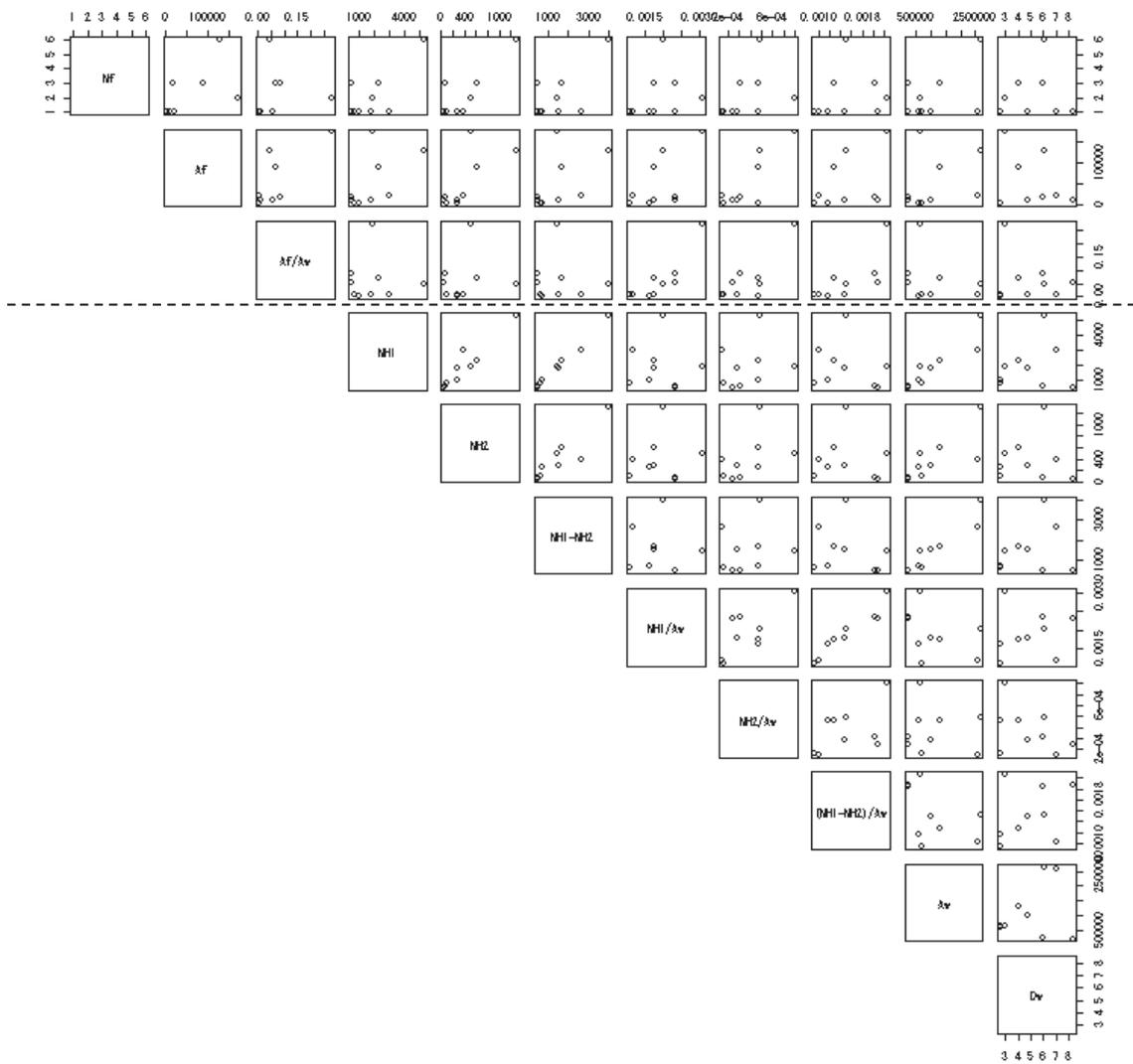


図 3.2.4 データの分布（地区単位のデータ、流失扱い、三陸、津波火災ありの地区）

表 3.2.6 相関行列（地区単位のデータ、焼失扱い、三陸、津波火災ありの地区）

	Nf	Af	Af/Aw	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Nf	1.00	0.61	0.17	0.73	0.80	0.62	0.27	0.25	0.16	0.48	0.16
Af		1.00	0.79	0.58	0.87	0.38	0.61	0.84	-0.03	0.30	-0.17
Af/Aw			1.00	0.01	0.39	-0.19	0.85	0.97	0.24	-0.24	-0.20
NH1				1.00	0.88	0.97	-0.06	0.10	-0.27	0.91	0.19
NH2					1.00	0.75	0.31	0.51	-0.15	0.64	-0.03
NH1-NH2						1.00	-0.24	-0.11	-0.30	0.97	0.28
NH1/Aw							1.00	0.86	0.68	-0.38	0.09
NH2/Aw								1.00	0.21	-0.19	-0.27
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.46	0.56
Aw										1.00	0.26
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

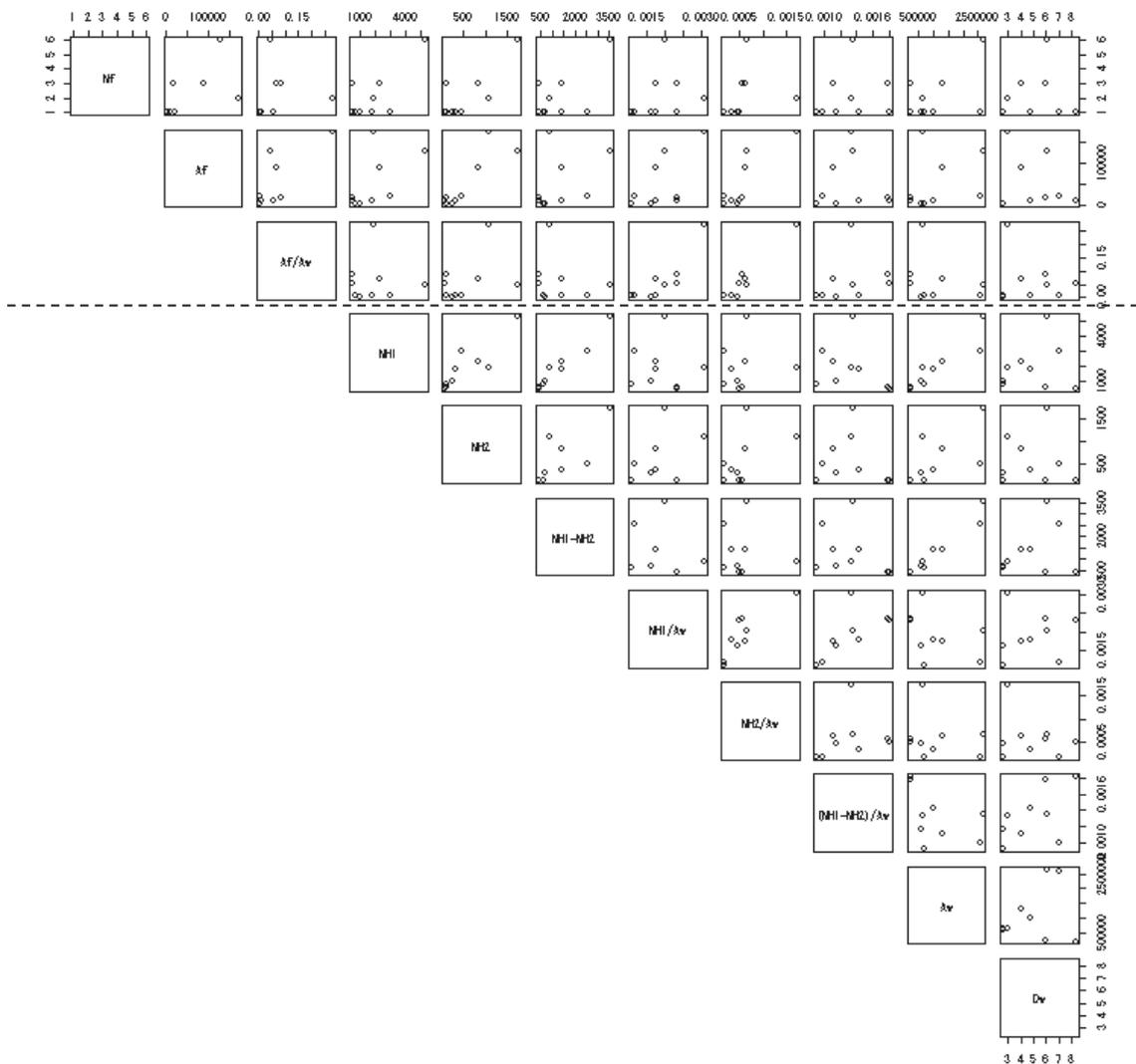


図 3.2.5 データの分布（地区単位のデータ、焼失扱い、三陸、津波火災ありの地区）

表 3.2.7 相関行列（地区単位のデータ、被害関数、三陸、津波火災ありの地区）

	Nf	Af	Af/Aw	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Nf	1.00	0.61	0.17	0.73	0.81	0.65	0.27	0.26	0.20	0.48	0.16
Af		1.00	0.79	0.58	0.84	0.44	0.61	0.84	0.20	0.30	-0.17
Af/Aw			1.00	0.01	0.34	-0.13	0.85	0.95	0.49	-0.24	-0.20
NH1				1.00	0.90	0.98	-0.06	0.12	-0.22	0.91	0.19
NH2					1.00	0.81	0.27	0.48	-0.03	0.66	-0.03
NH1-NH2						1.00	-0.19	-0.04	-0.29	0.96	0.27
NH1/Aw							1.00	0.85	0.85	-0.38	0.09
NH2/Aw								1.00	0.43	-0.19	-0.32
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.46	0.47
Aw										1.00	0.26
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

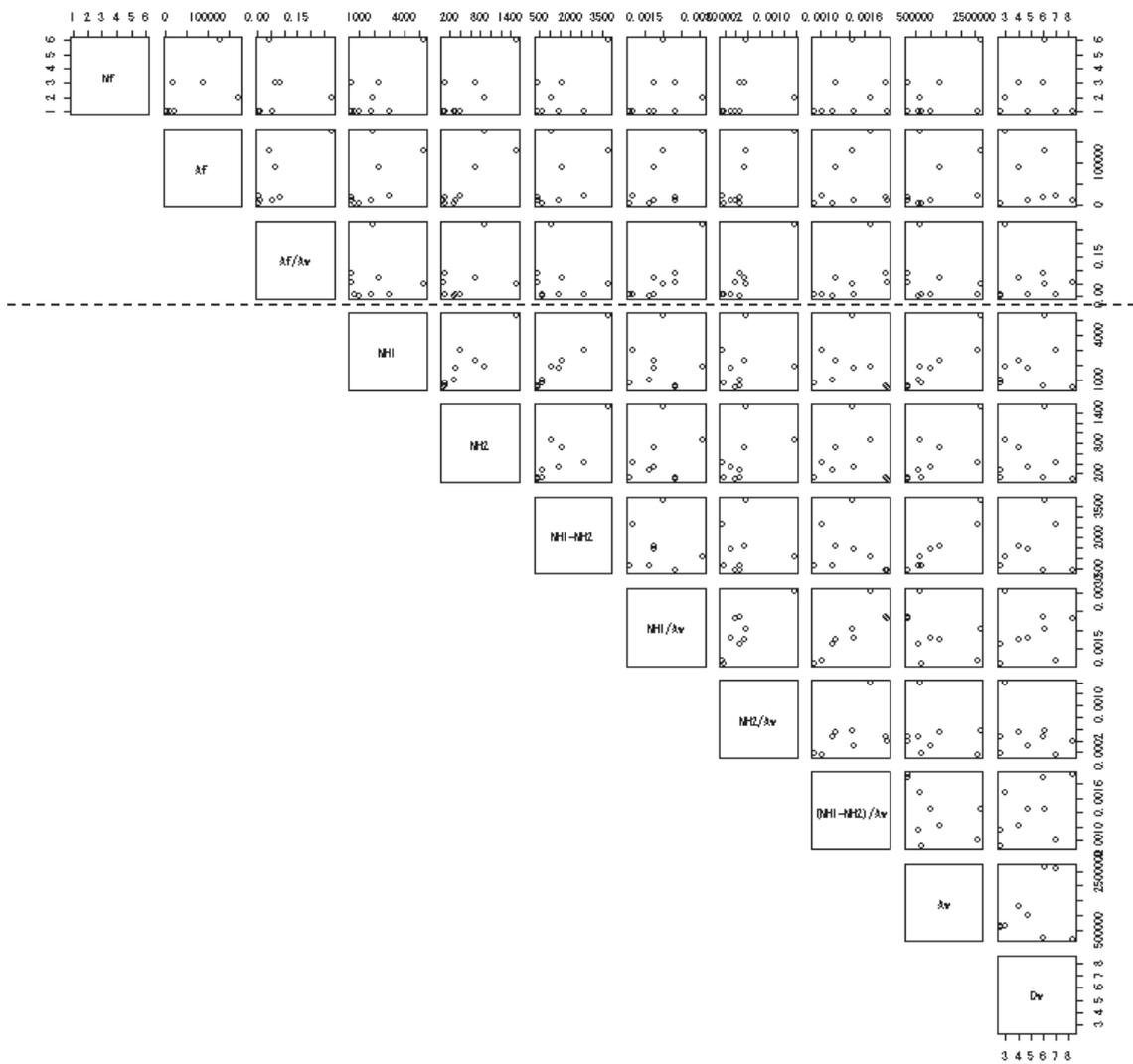


図 3.2.6 データの分布（地区単位のデータ、被害関数、三陸、津波火災ありの地区）

表 3.2.8 地区単位のデータ（平野）

地区名		地形区分	津波火災			津波浸水域の建物棟数			津波浸水域			
			有無 Bf [0, 1]	件数 NF [件]	延焼面積 Af [m <sup>2</sup> ]	地震前 NH1 [棟]	延焼範囲内 流失扱い	延焼範囲内 焼失扱い	延焼範囲内 被害棟数	浸水面積 Aw [m <sup>2</sup> ]	最大浸水深 の平均値 Dw [m]	
県	市区町村	地区										
宮城	石巻市	石巻東	0	0	0	15,701	9,284	9,284	9,284	8,491,157	2.70	
		石巻西	1	5	54,150	30,009	23,455	23,664	23,558	17,146,692	2.10	
	東松島市	野蒜	0	0	0	2,551	745	745	745	4,535,354	4.00	
		松島町	0	0	0	462	433	433	433	333,650	1.10	
	塩釜市	塩竈	0	0	0	4,236	3,397	3,397	3,397	2,568,042	1.00	
		七ヶ浜町	0	0	0	924	298	298	298	1,996,139	3.00	
	仙台市宮城野区	仙台港北	0	0	0	8,028	6,738	6,739	6,738	11,334,867	2.00	
		仙台港南	1	1	8,299	3,453	2,228	2,272	2,255	6,193,989	3.20	
		荒浜	0	0	0	3,102	1,422	1,422	1,422	15,049,380	3.94	
	仙台市若林区	閑上	1	2	43,338	3,384	747	819	784	7,457,295	2.21	
		岩沼	0	0	0	4,209	2,941	2,941	2,941	25,414,916	2.13	
		亘理町	0	0	0	3,422	2,056	2,063	2,056	16,950,789	2.32	
		山元町	0	0	0	2,357	1,147	1,147	1,147	8,818,496	2.96	
		新地町	0	0	0	1,006	283	283	283	3,416,207	3.54	
	福島	相馬市	新地	0	0	0	1,691	1,041	1,041	1,041	22,899,607	2.50
			相馬	0	0	0						

表 3.2.9 相関行列（地区単位のデータ、流失扱い、平野、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.95	0.85	0.45	0.44	0.42	0.18	0.14	0.20	0.01	-0.04
Nf		1.00	0.97	0.54	0.52	0.51	0.23	0.18	0.25	0.06	-0.12
Af			1.00	0.65	0.64	0.59	0.30	0.25	0.27	0.12	-0.17
NH1				1.00	0.99	0.90	0.65	0.59	0.50	0.27	-0.17
NH2					1.00	0.82	0.63	0.61	0.40	0.28	-0.23
NH1/NH2						1.00	0.60	0.45	0.74	0.19	0.02
NH1/Aw							1.00	0.96	0.65	-0.34	-0.51
NH2/Aw								1.00	0.41	-0.27	-0.65
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.37	0.10
Aw										1.00	-0.01
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

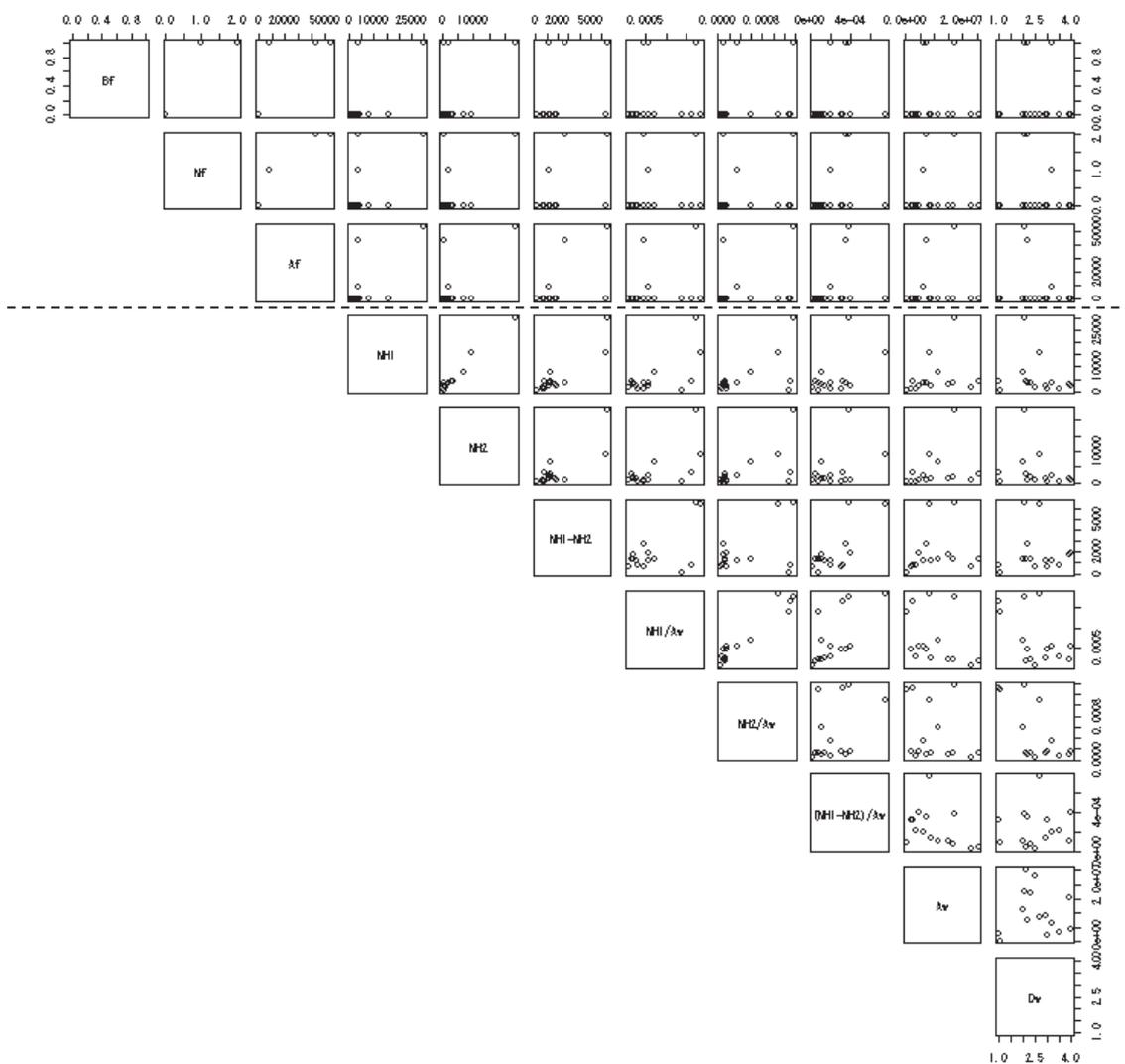


図 3.2.7 データの分布（地区単位のデータ、流失扱い、平野、全地区）

表 3.2.10 相関行列（地区単位の数、焼失扱い、平野、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.95	0.85	0.45	0.44	0.40	0.18	0.15	0.18	0.01	-0.04
Nf		1.00	0.97	0.54	0.53	0.50	0.23	0.19	0.23	0.06	-0.12
Af			1.00	0.65	0.64	0.58	0.30	0.26	0.26	0.12	-0.17
NH1				1.00	0.99	0.89	0.65	0.60	0.49	0.27	-0.17
NH2					1.00	0.82	0.63	0.62	0.39	0.28	-0.23
NH1/NH2						1.00	0.60	0.45	0.74	0.19	0.03
NH1/Aw							1.00	0.96	0.65	-0.34	-0.51
NH2/Aw								1.00	0.41	-0.27	-0.65
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.38	0.11
Aw										1.00	-0.01
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

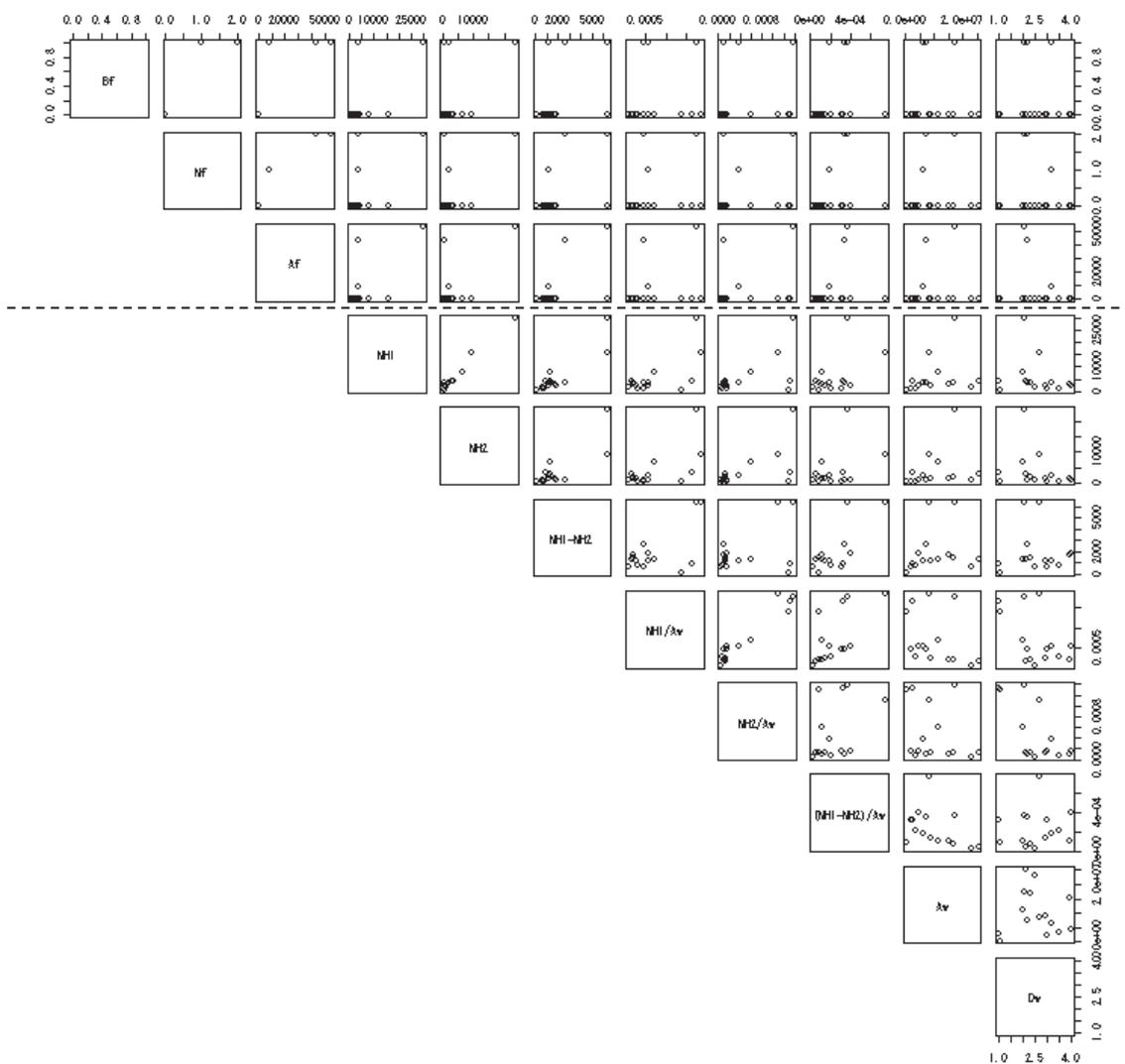


図 3.2.8 データの分布（地区単位の数、焼失扱い、平野、全地区）

表 3.2.11 相関行列（地区単位のデータ、被害関数、平野、全地区）

	Bf	Nf	Af	NH1	NH2	NH1-NH2	NH1/Aw	NH2/Aw	(NH1-NH2)/Aw	Aw	Dw
Bf	1.00	0.95	0.85	0.45	0.44	0.41	0.18	0.14	0.19	0.01	-0.04
Nf		1.00	0.97	0.54	0.53	0.50	0.23	0.18	0.24	0.06	-0.12
Af			1.00	0.65	0.64	0.58	0.30	0.26	0.27	0.12	-0.17
NH1				1.00	0.99	0.89	0.65	0.59	0.49	0.27	-0.17
NH2					1.00	0.82	0.63	0.61	0.39	0.28	-0.23
NH1/NH2						1.00	0.60	0.45	0.74	0.19	0.03
NH1/Aw							1.00	0.96	0.65	-0.34	-0.51
NH2/Aw								1.00	0.41	-0.27	-0.65
(NH1-NH2)/Aw									1.00	-0.38	0.10
Aw										1.00	-0.01
Dw											1.00

※相関係数の絶対値が 0.8 以上のセルを強調表示した(対角成分を除く)。

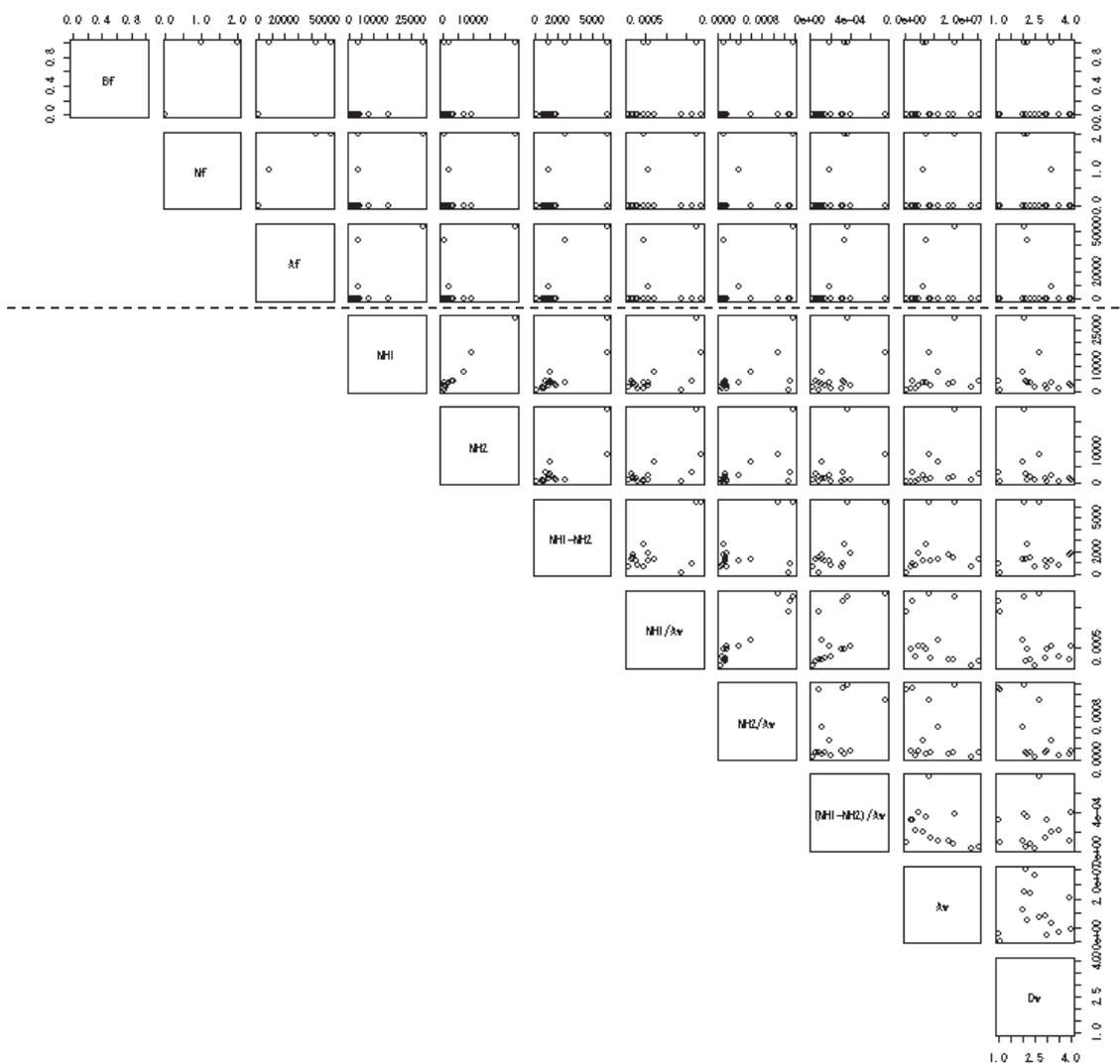


図 3.2.9 データの分布（地区単位のデータ、被害関数、平野、全地区）

### 3.2.2 メッシュ単位のデータ

用いるデータの概要を表 3.2.12 に示す。

また、変数同士の相関関係およびデータの分布図を表 3.2.13、図 3.2.10、図 3.2.11 に示す。これらの主な特徴は次のとおり。

- ・説明変数の候補の中に  $Bf$  との相関の強いものはない。
- ・ $NH1$  が 0~50 棟程度のメッシュは  $Dw$  が 0~15m の範囲に分布するのに対し、 $Bf$  が 1 のメッシュは  $Dw$  が 0~8m の範囲に限定的に分布する。
- ・ $NH1$  が大きいほど、 $Bf$  が 1 である割合が高い。

表 3.2.12 メッシュ単位のデータ（概要）

地区名			地形区分	メッシュ数		メッシュごとの最大値、最小値							
				津波火災		NH1 [棟]		Dw [m]		SL [度]		Be [0, 1]	
県	市区町村	地区		有	無	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
岩手	宮古市	田老	三陸	5	164	48	0	30	0	35	0	1	0
		山田町	大沢	三陸	2	102	42	0	6	0	26	0	1
	山田		三陸	34	65	55	0	8	0	25	0	1	0
	織笠		三陸	2	124	42	0	8	0	30	0	1	0
	田の浜		三陸	11	40	55	0	16	0	30	0	1	0
	大槌町	赤浜	三陸	5	34	53	0	13	0	26	0	1	0
		大槌	三陸	40	387	71	0	20	0	40	0	1	0
宮城	気仙沼市	鹿折	三陸	22	183	47	0	8	0	28	0	1	0
	南三陸町	志津川	三陸	7	442	48	0	22	0	33	0	1	0

表 3.2.13 相関行列（メッシュ単位のデータ）

	Bf	NH1	Dw	SL	Be
Bf	1.00	0.28	-0.17	-0.10	-0.02
NH1		1.00	0.01	-0.36	-0.16
Dw			1.00	-0.14	-0.13
SL				1.00	0.61
Be					1.00

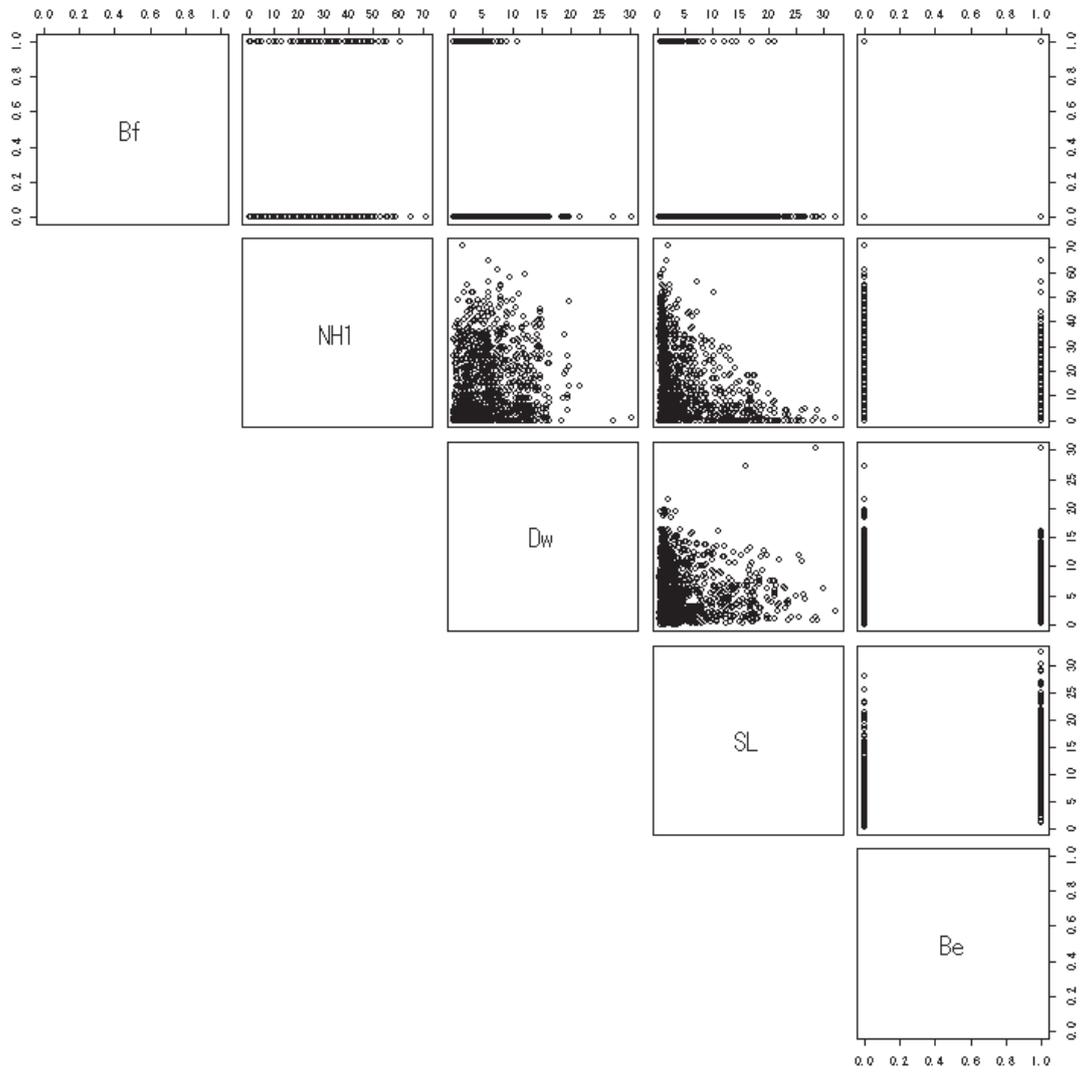


図 3.2.10 データの分布（メッシュ単位のデータ）

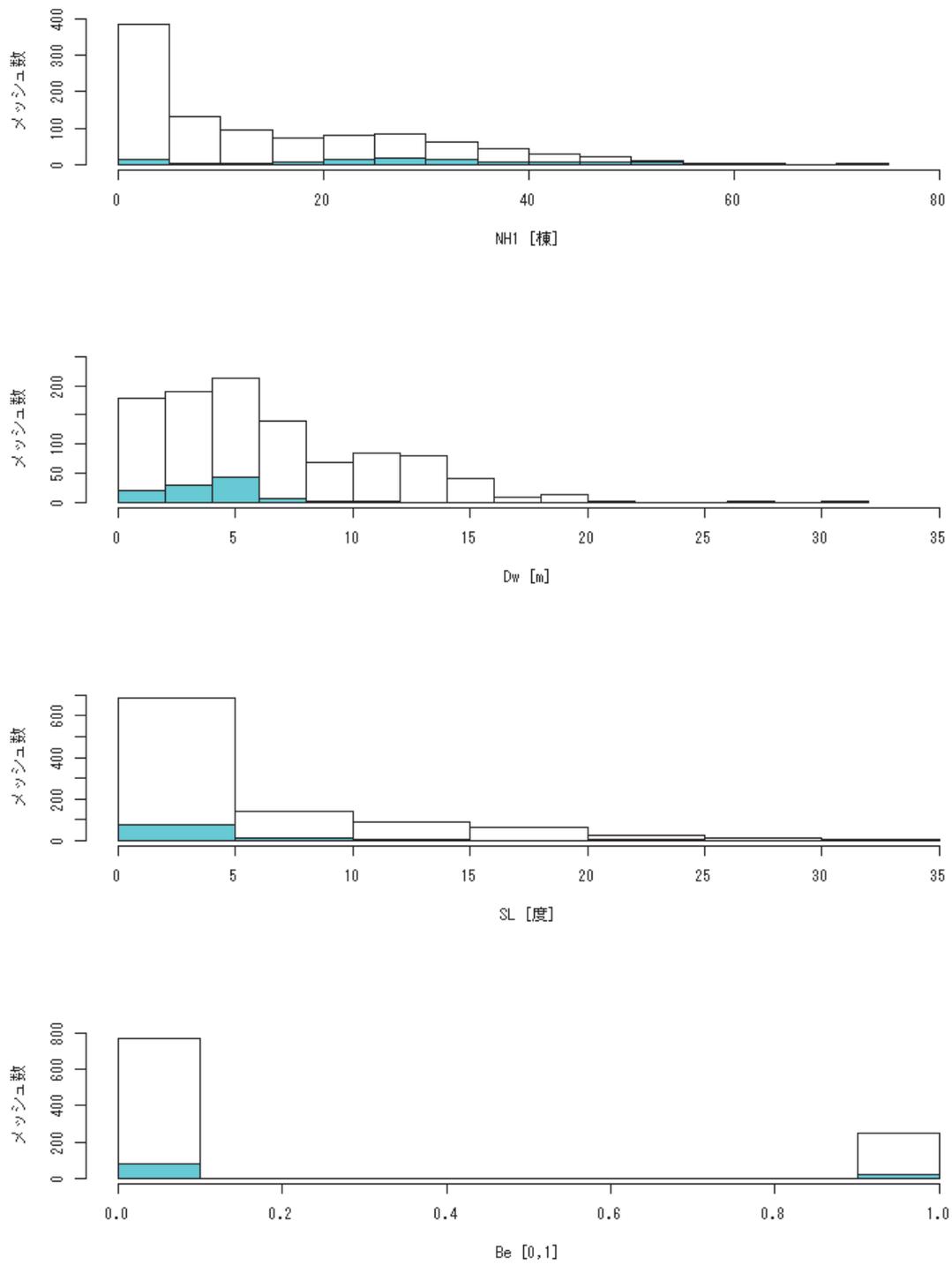


図 3.2.11 データのメッシュ数とその分布  
(影は津波火災のあったメッシュ)

### 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 `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 `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)

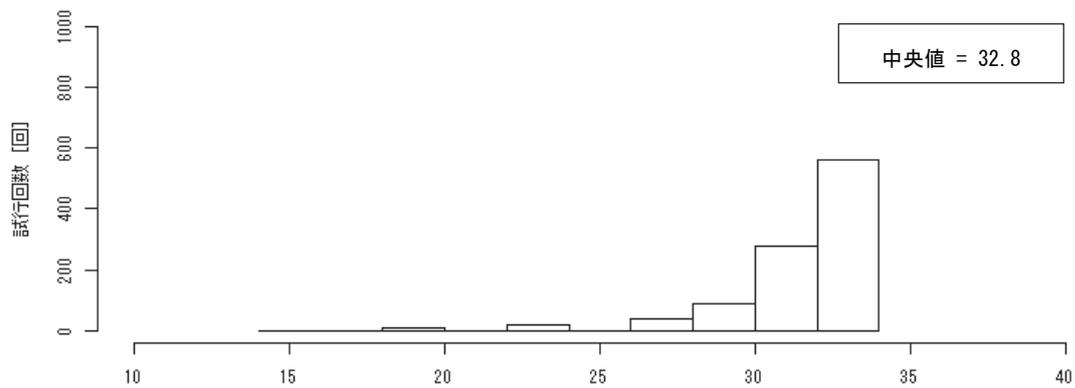
No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数											
	$b_0+b_1*x_1+b_2*x_2$		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC		$b_0$		$b_1$		$b_2$		AIC	
	$x_1$	$x_2$	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値
1	NH1	NH2	-4.4E-1	0.5	4.4E-4	0.3	-1.8E-3	0.3	35.4	-4.7E-1	0.5	-1.5E-5	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。

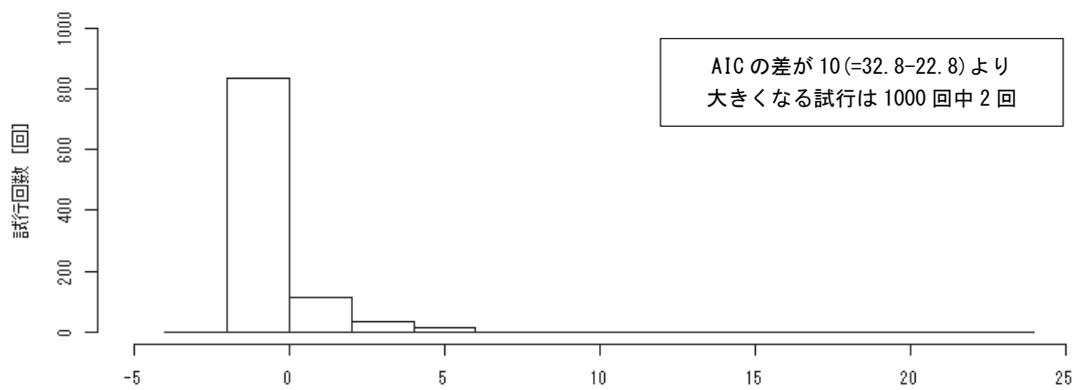
表 3.3.2 回帰分析結果 (Bf、地区単位、平野)

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
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	-	-
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	-	-
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	-	-
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
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
7	NH1-NH2	Dw	-2.1E+0	0.4	4.5E-4	0.2	-1.3E-1	0.9	18.8	-2.0E+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
8	NH1/Aw	NH2/Aw	-2.1E+0	0.1	2.1E+3	0.6	-1.8E+3	0.7	20.4	-2.0E+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
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	-	-
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	-	-
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	-	-
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
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
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
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
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
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
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
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	-	-
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	-	-
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	-	-	-	-

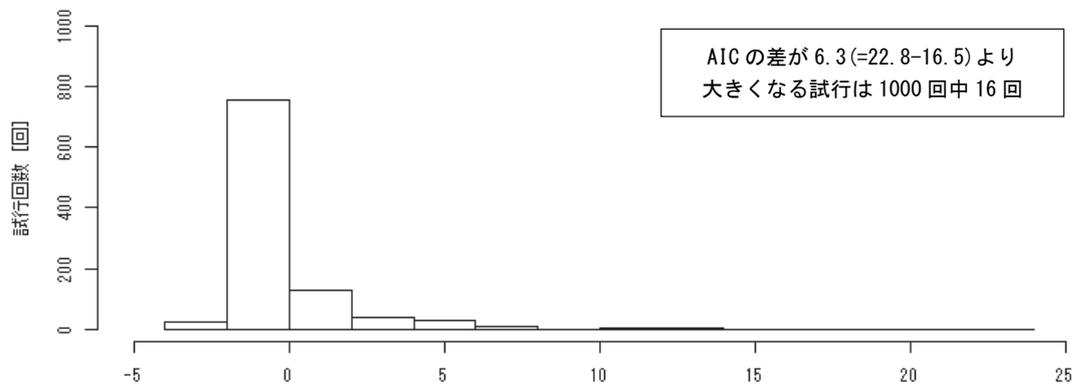
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。



(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。志津川地区についても  $E[B_f]$  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。

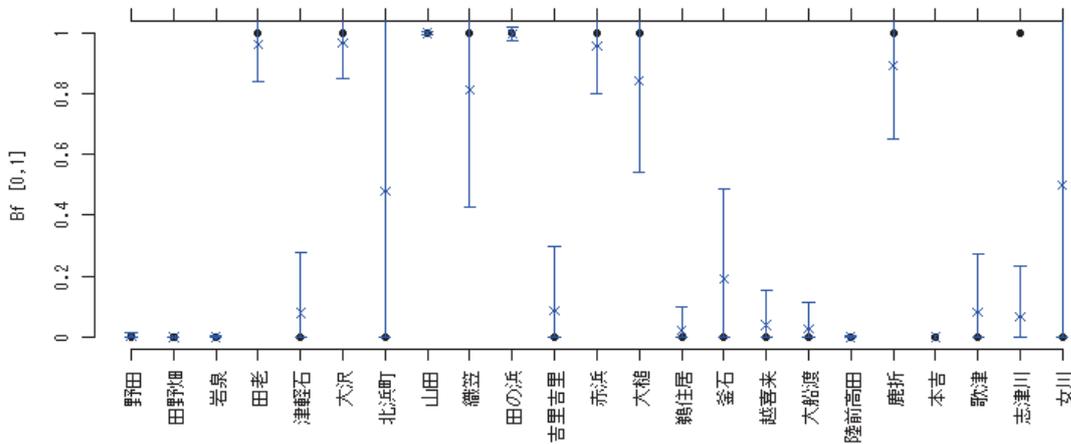


図 3.3.2 No.17のデータへの当てはまりの良さ ( $B_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(● : 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)

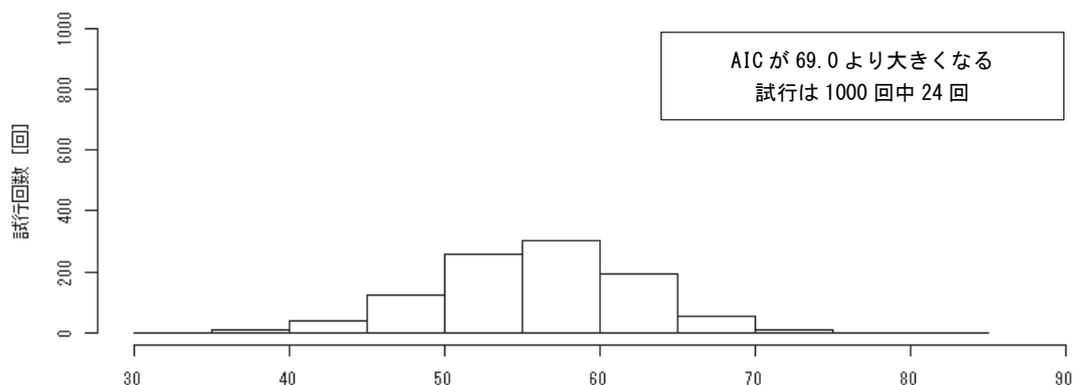
No.	線形予測子		流失扱い						焼失扱い						被害関数											
	No.	線形予測子	b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC		b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC		b <sub>0</sub>		b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		AIC	
			係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値
1	NH1	NH2	-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。

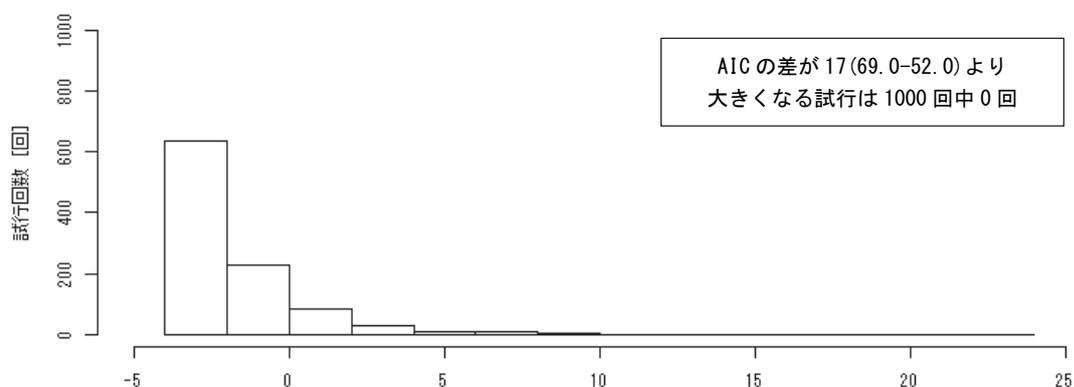
表 3.3.6 回帰分析結果 (Nf、地区単位、平野)

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	-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	-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	-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	-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	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	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	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	-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	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	-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	-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。

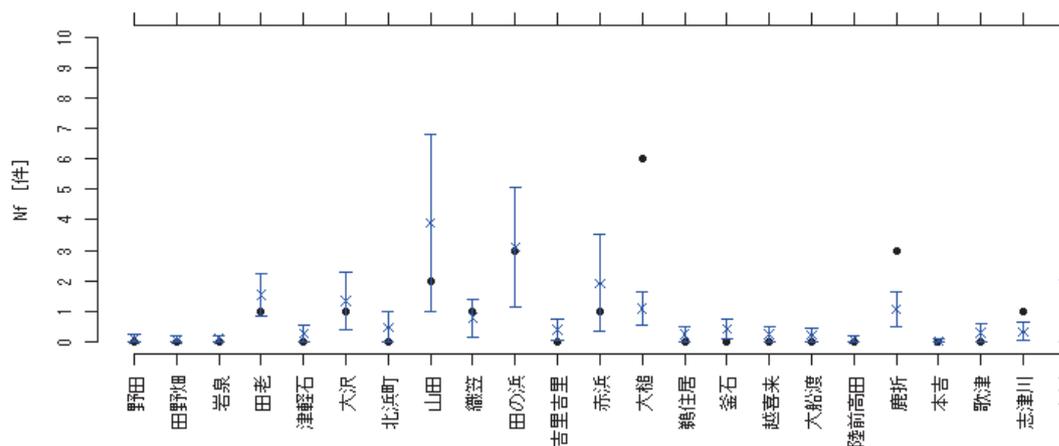


図 3.3.4 No.17 のデータへの当てはまりの良さ ( $N_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: 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

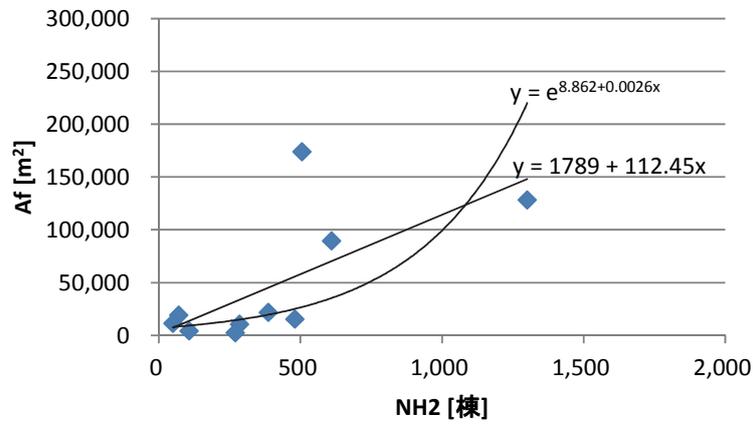


図 3.3.5 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、流失扱い)

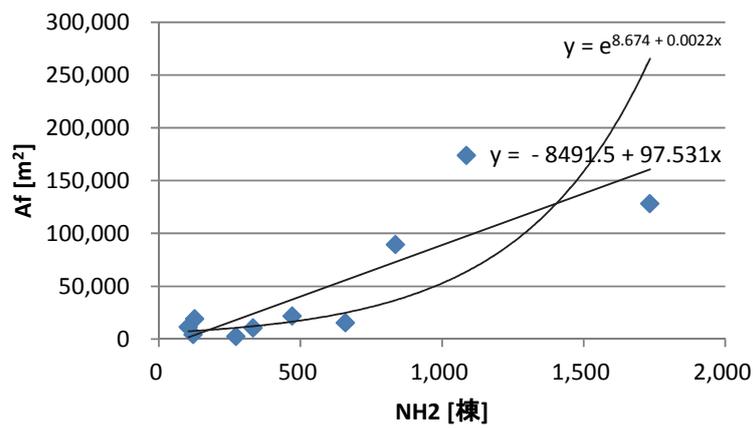


図 3.3.6 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、焼失扱い)

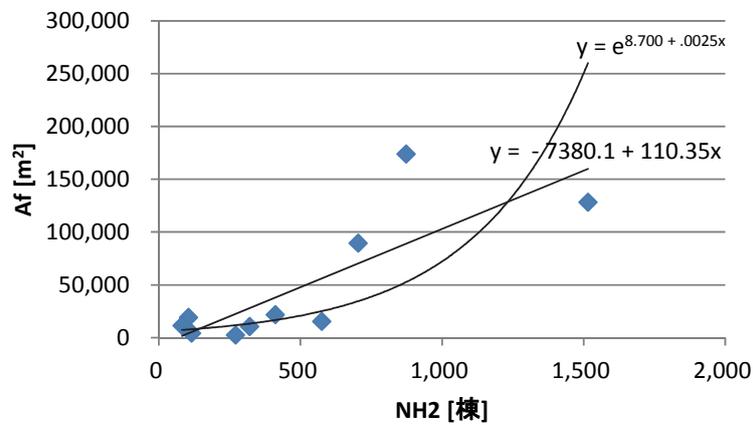


図 3.3.7 Af と NH2 の関係 (地区単位、三陸、被害関数)

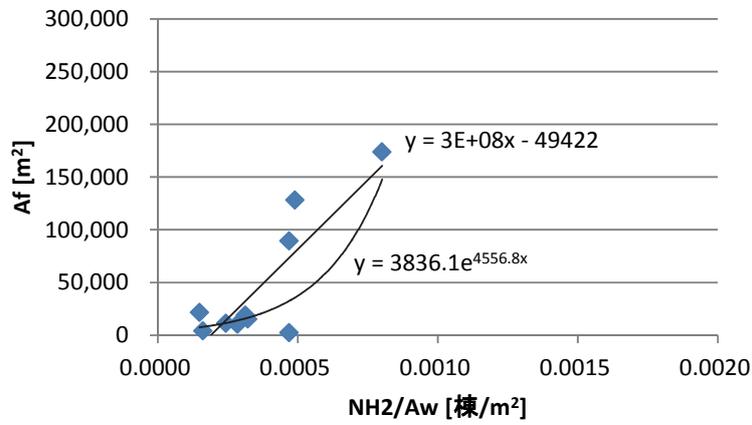


図 3.3.8  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、流失扱い）

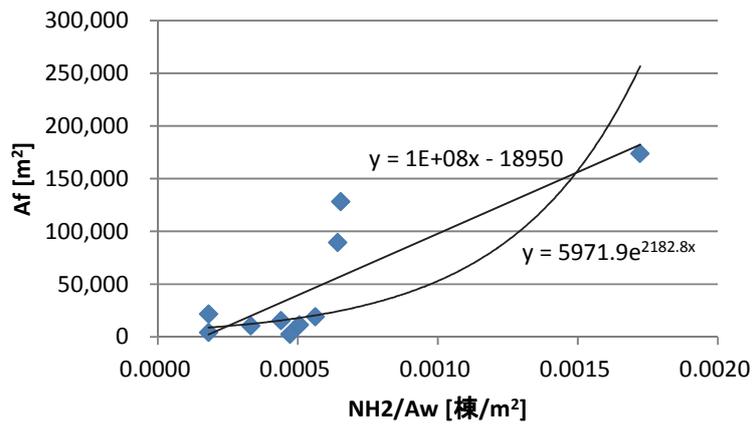


図 3.3.9  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、焼失扱い）

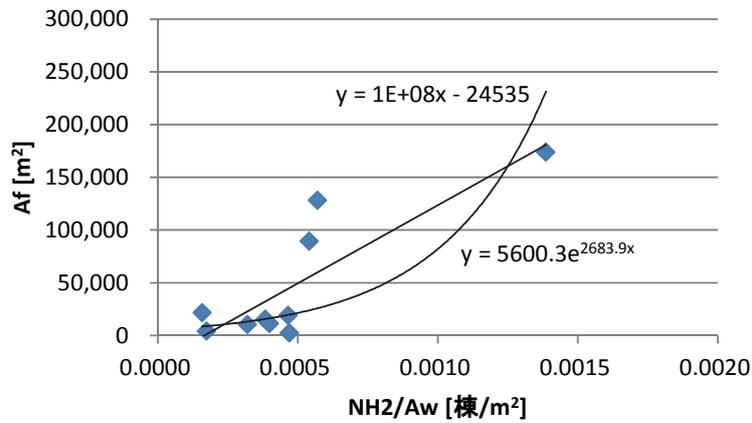


図 3.3.10  $A_f$  と  $NH_2/A_w$  の関係（地区単位、三陸、被害関数）

## 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。

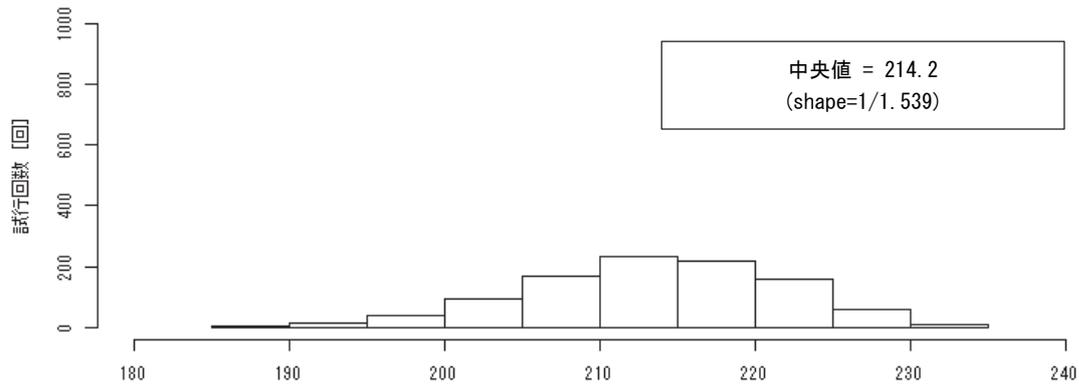
逆に、 $NH1$  や  $(NH1-NH2)$ 、 $NH1/Aw$ 、 $(NH1-NH2)/Aw$  については、どの回帰モデルでも AIC の改善にほとんど寄与していない。

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)。

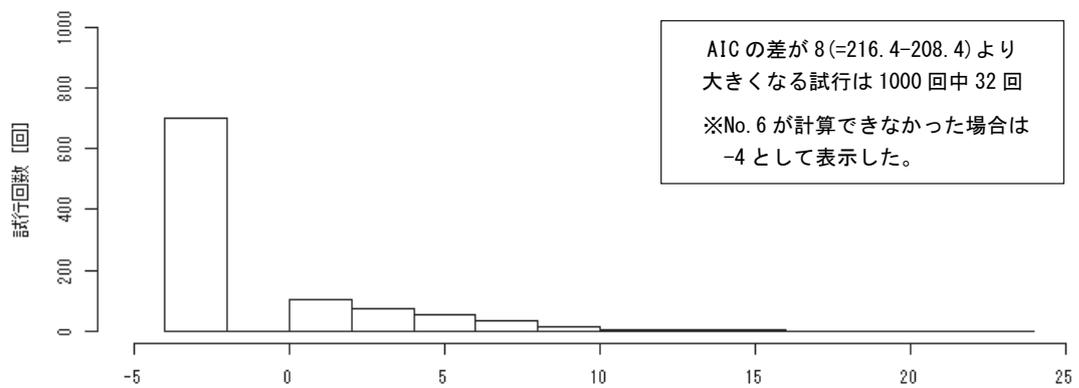
表 3.3.10 回帰分析結果 (4f、地区単位、三陸)

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

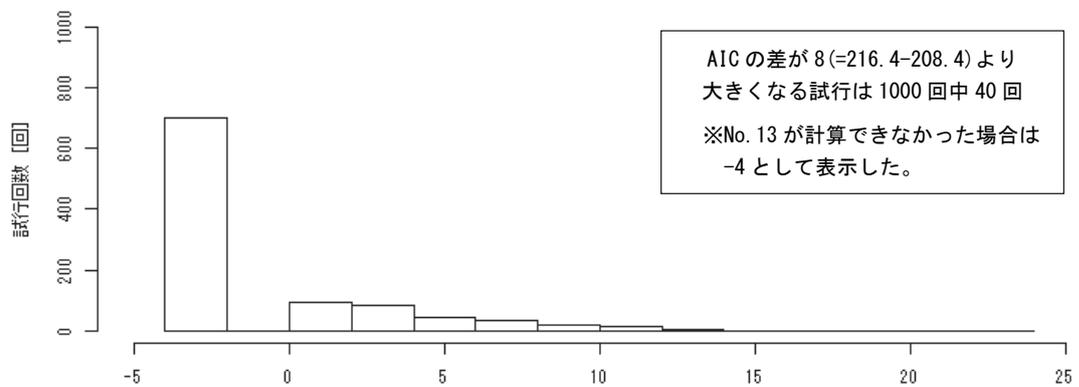
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。また、glm()では偏回帰係数を求められなかったセルに黒影を付けた。



(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。

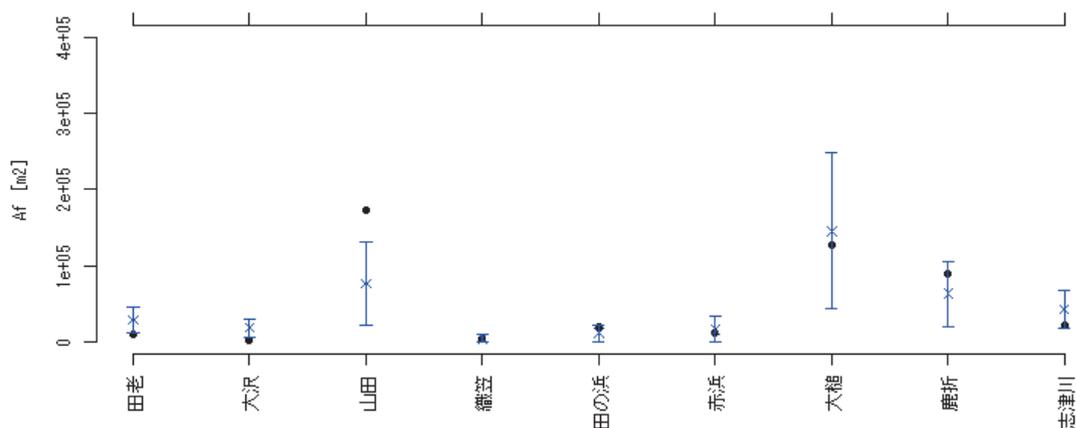


図 3.3.12 データへの当てはまりの良さ ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●：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。

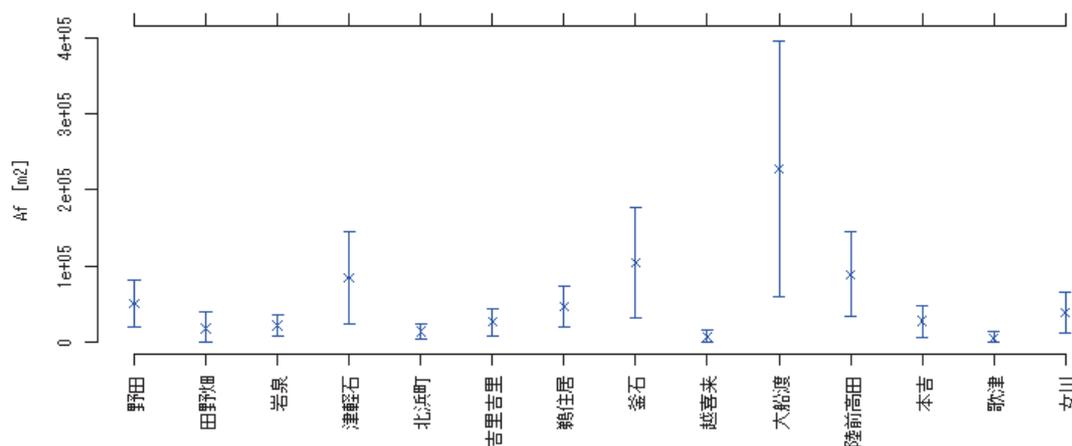


図 3.3.13 津波火災のなかった地区への適用 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(×:  $E[A_f]$ 、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。

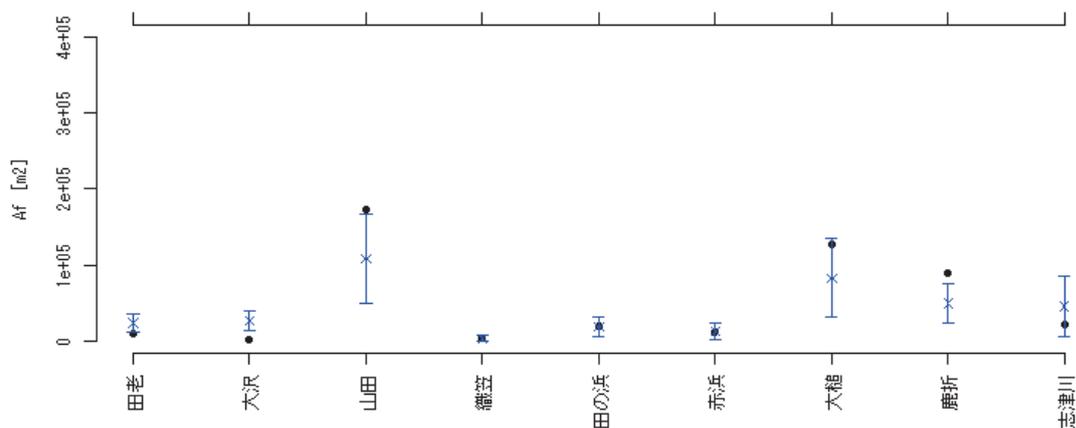


図 3.3.14 データへの当てはまりの良さ ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: 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。

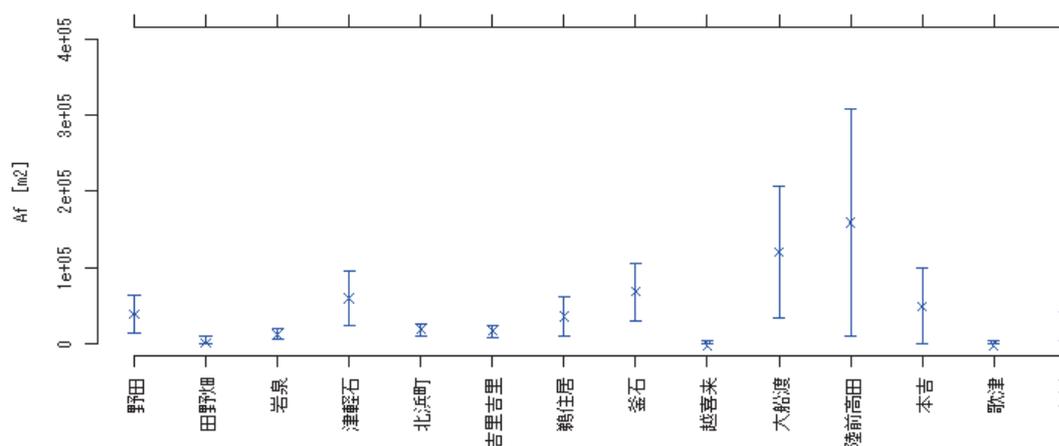


図 3.3.15 津波火災のなかった地区への適用 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(×:  $E[A_f]$ 、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。

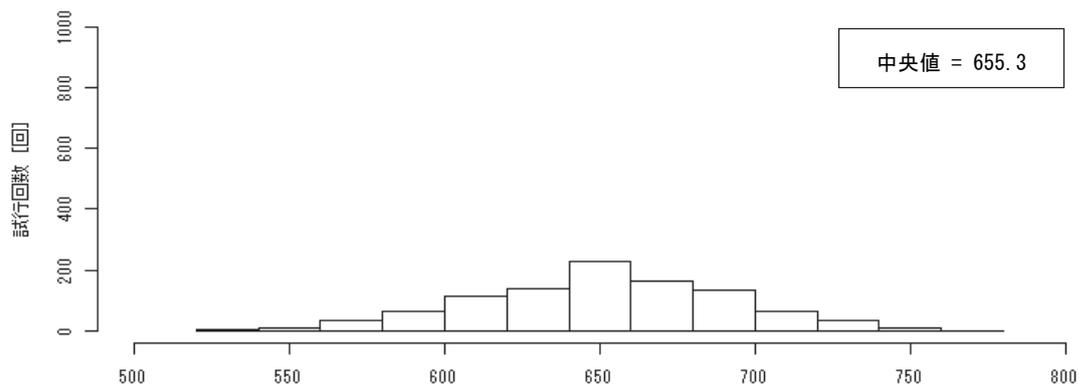
逆に、 $SL$  および  $Be$  については AIC の改善にほとんど寄与しなかった。

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)。

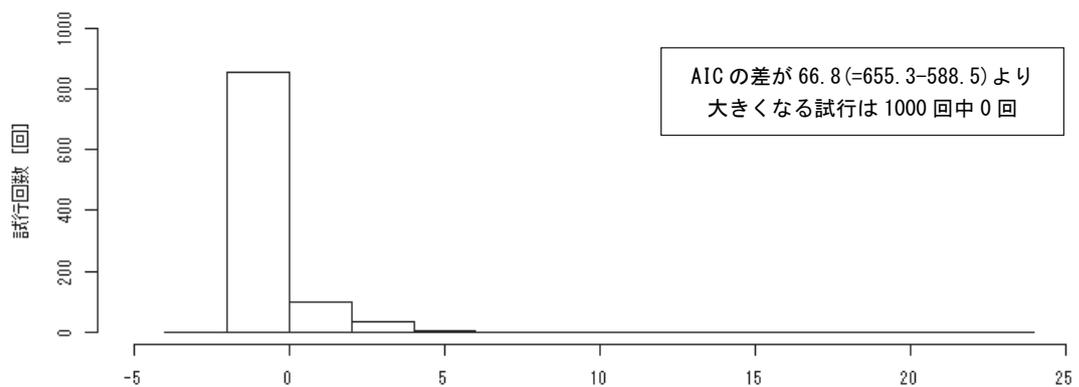
表 3.3.15 回帰分析結果 (Bf、メッシュ単位、三陸)

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

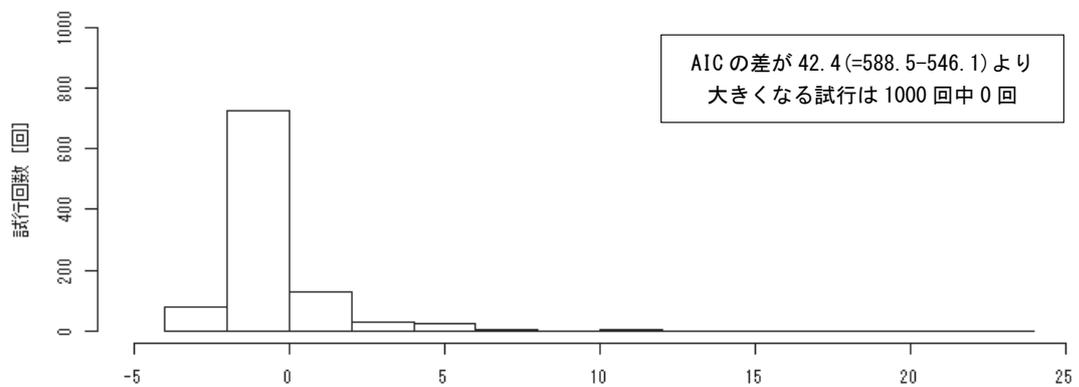
※P値が0.25より大きいセルに灰影を、AICが最も小さいセルに黄影を付けた。



(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>

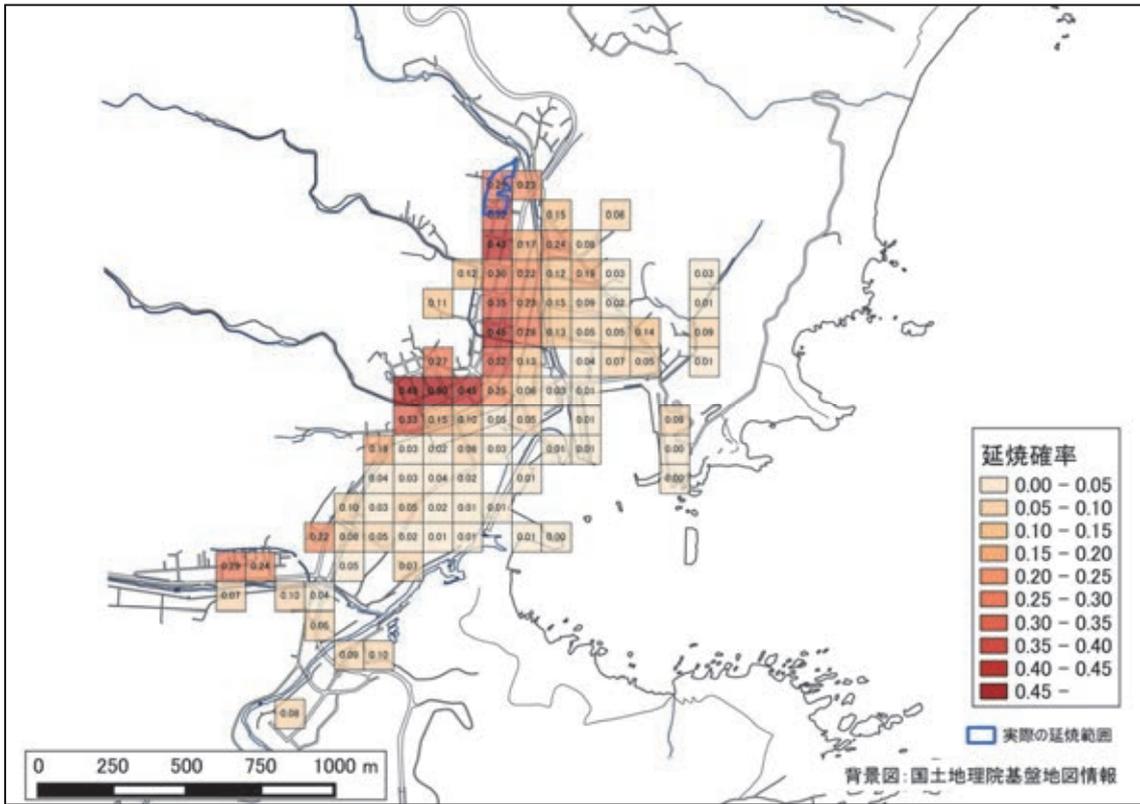


図 3.3.18 田老地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

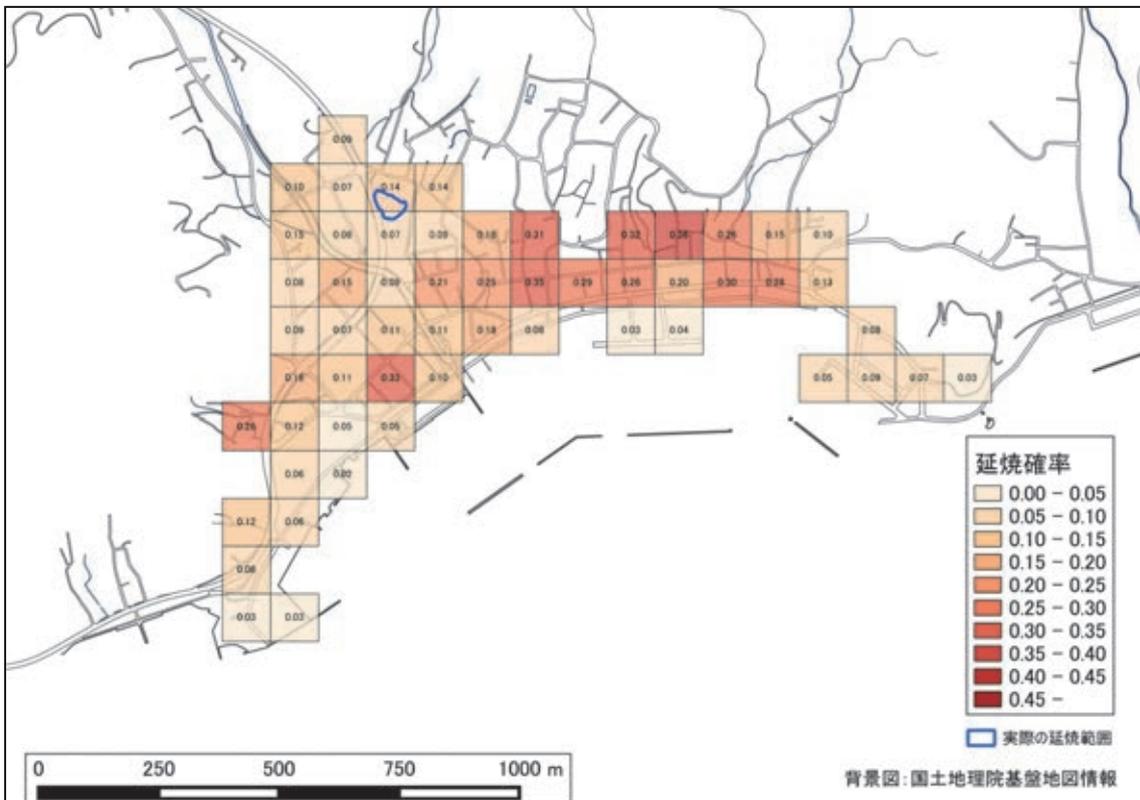


図 3.3.19 大沢地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

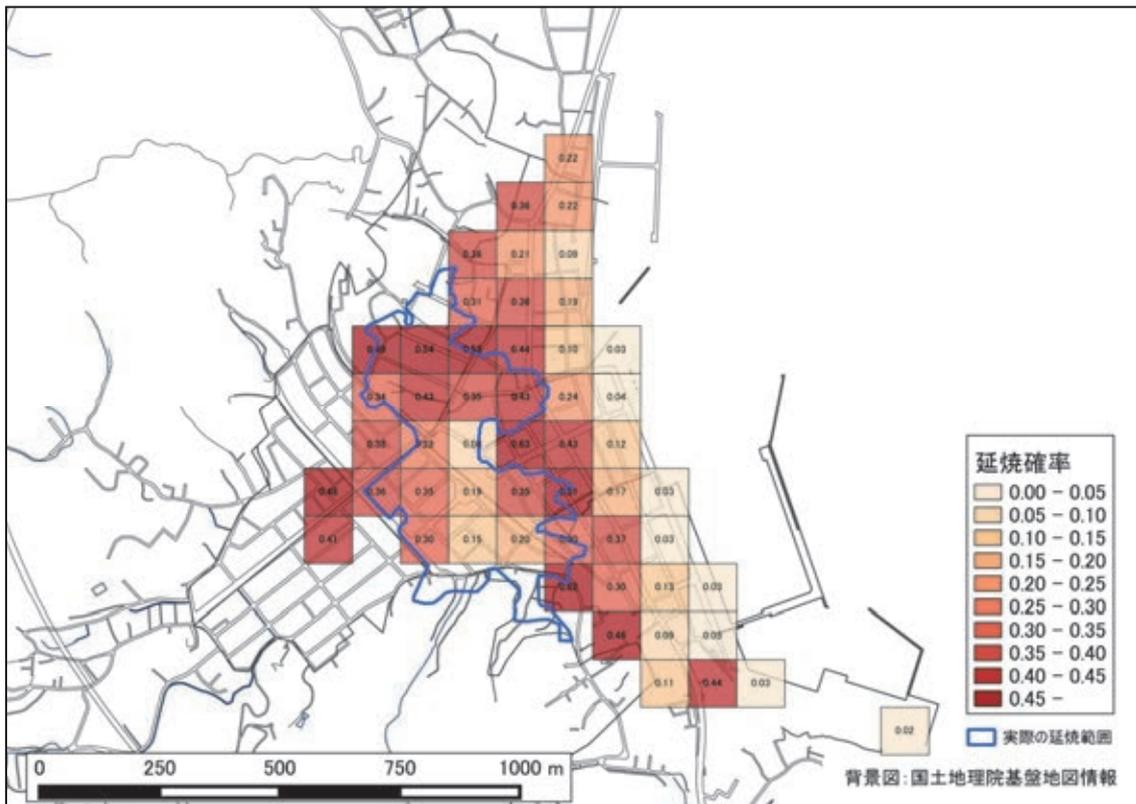


図 3.3.20 山田地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18) をもとに作成

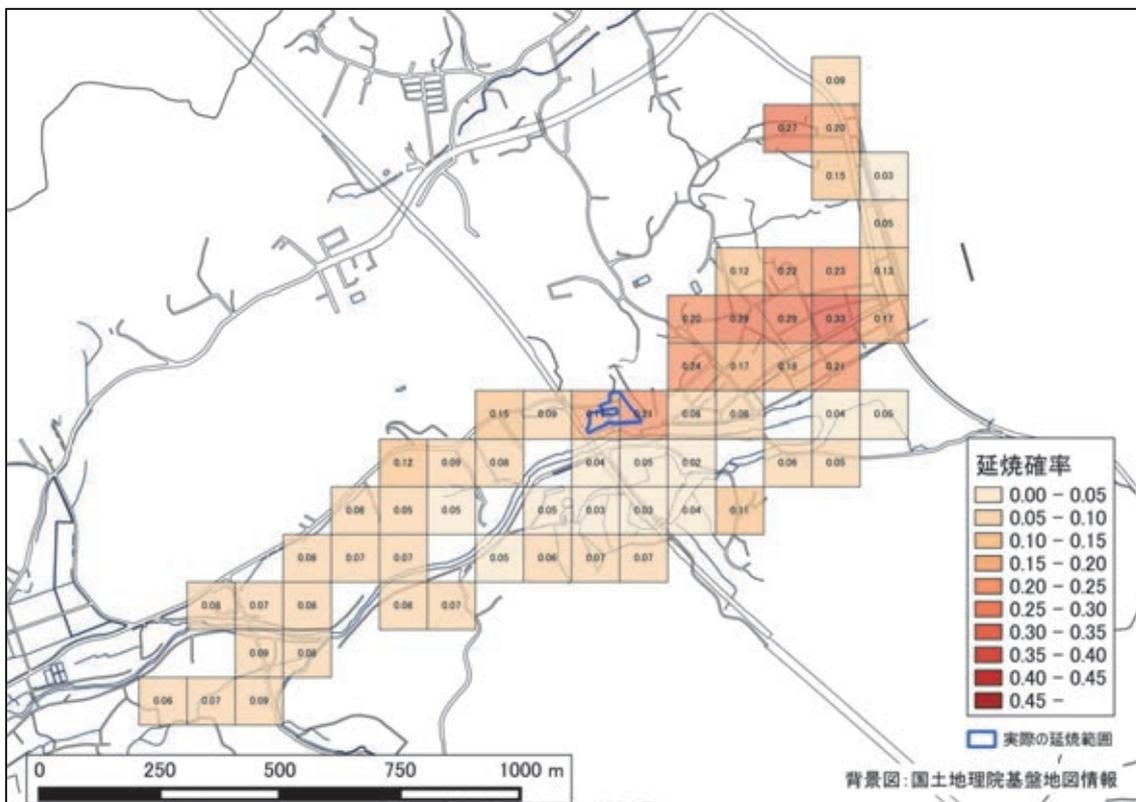


図 3.3.21 織笠地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18) をもとに作成

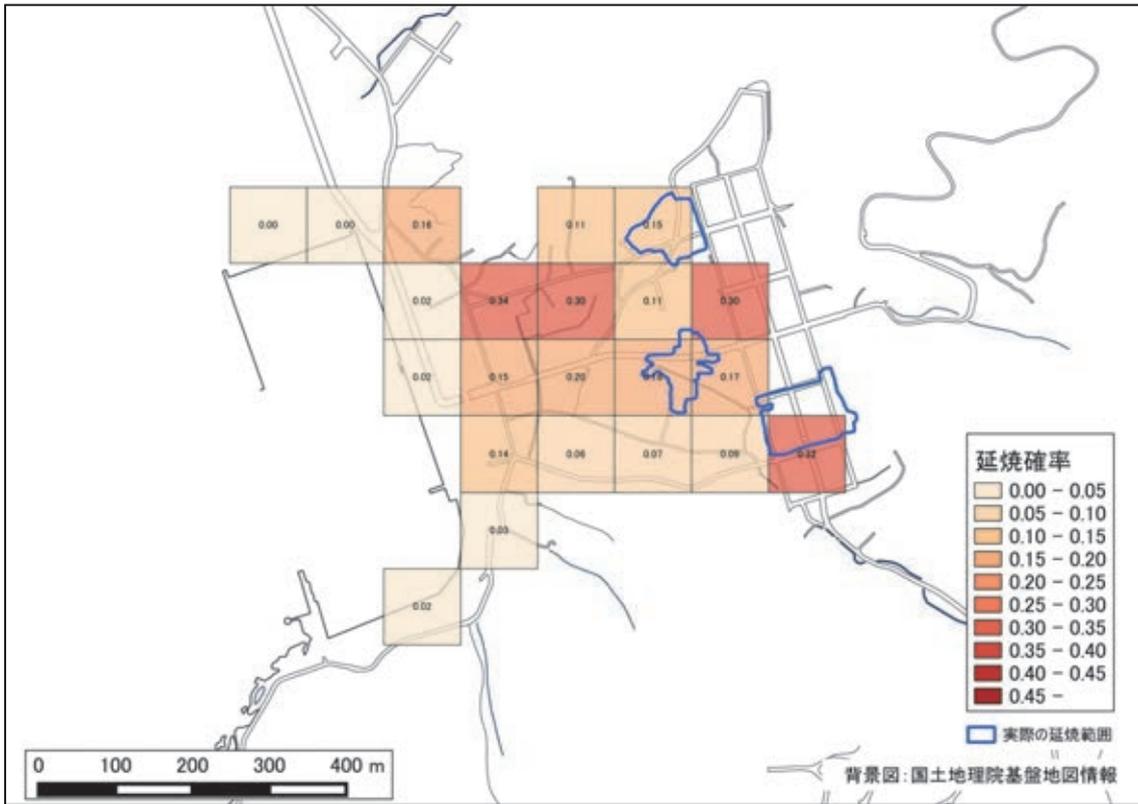


図 3.3.22 田の浜地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

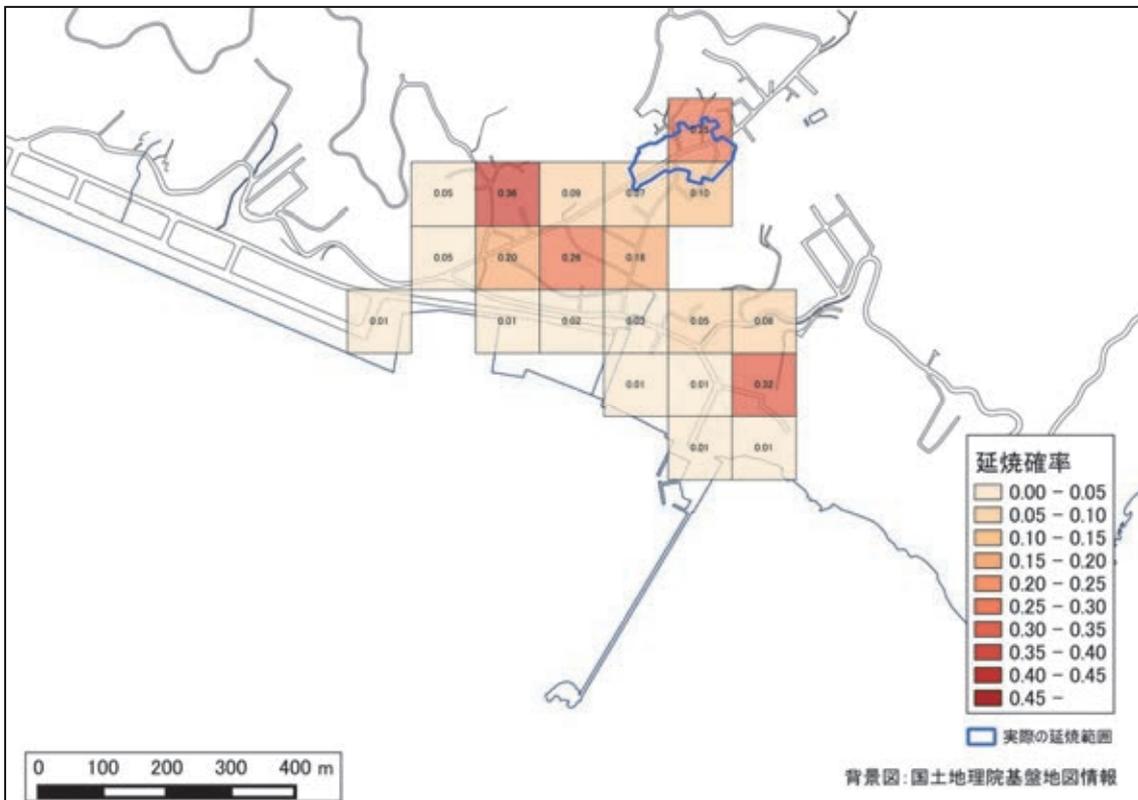


図 3.3.23 赤浜地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

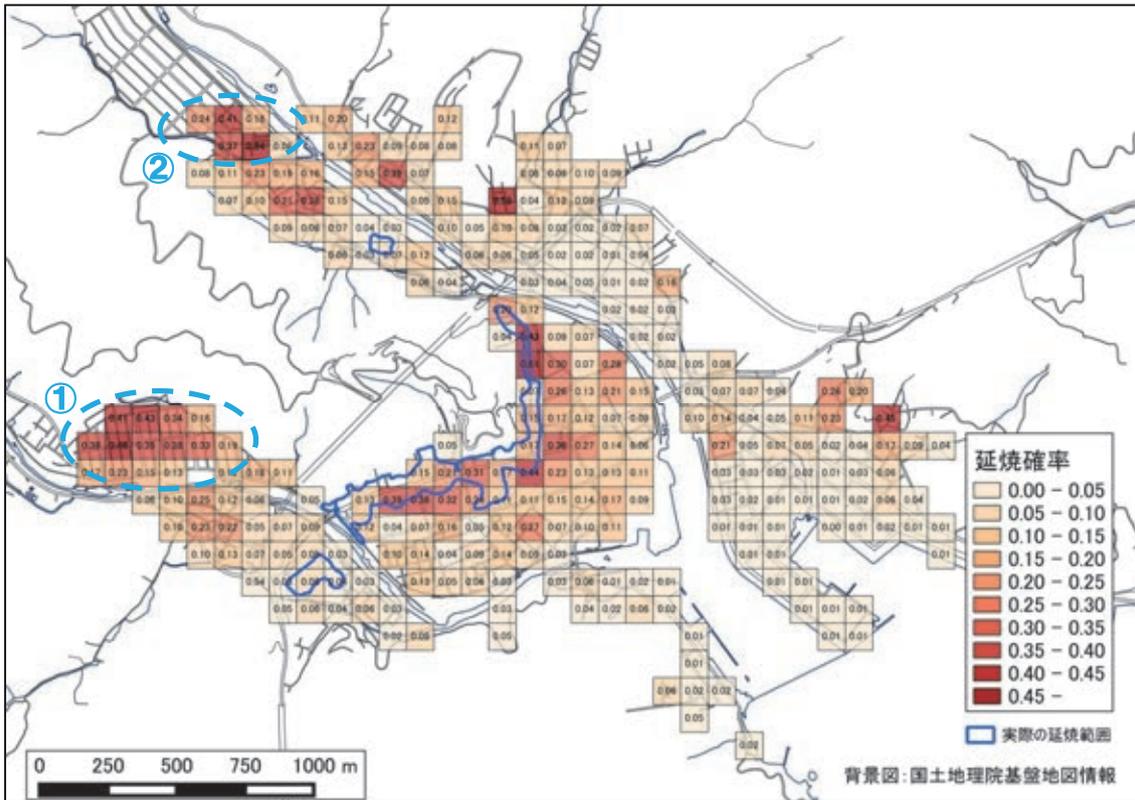


図 3.3.24 大槌地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18)をもとに作成

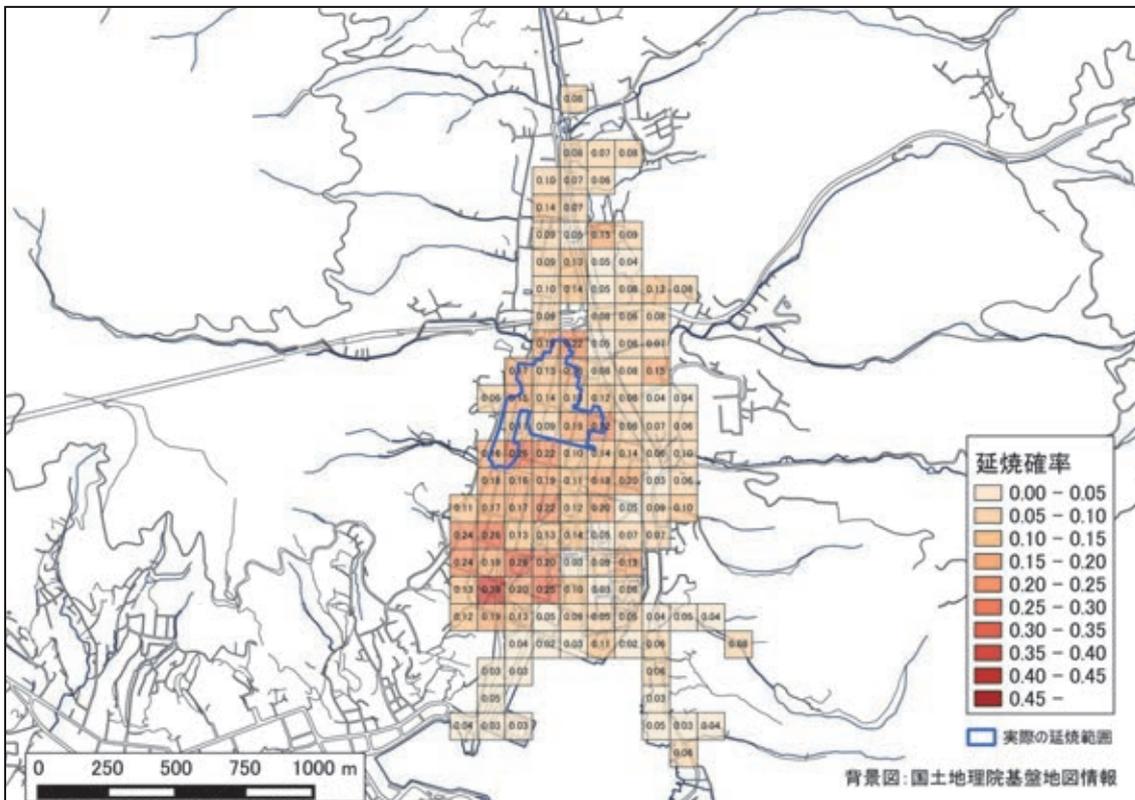


図 3.3.25 鹿折地区の予測値 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) 18)をもとに作成

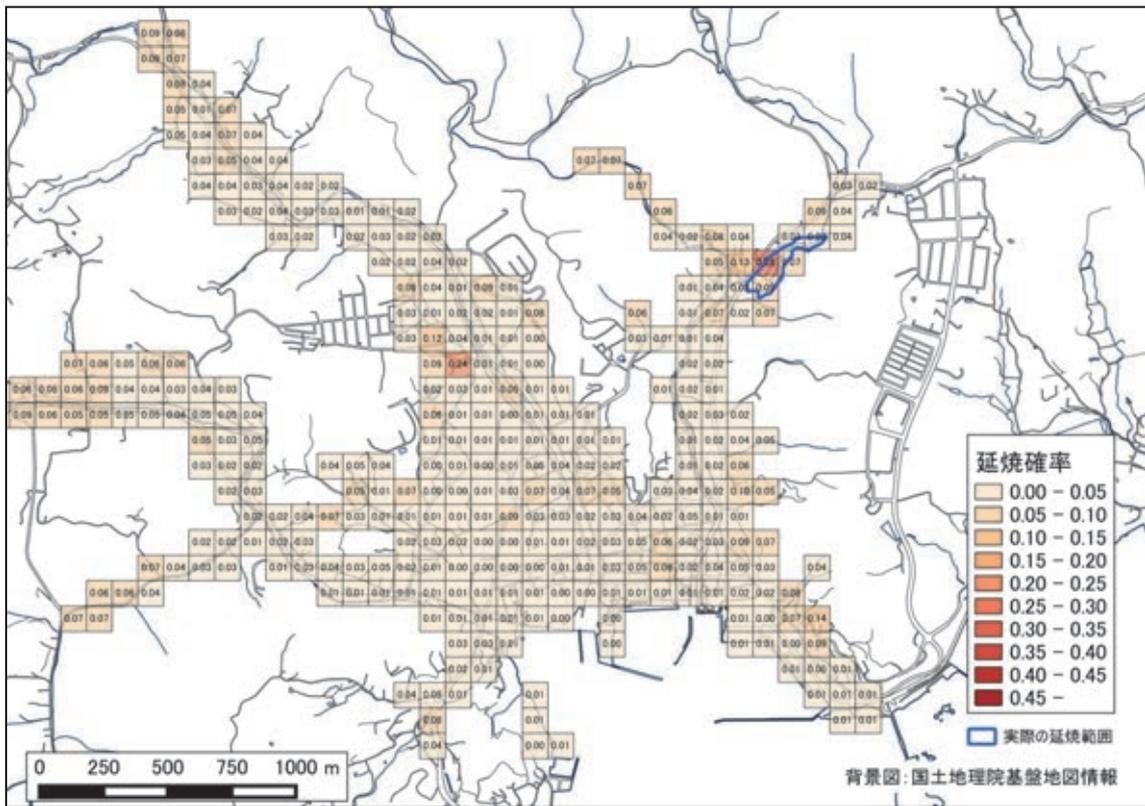


図 3.3.26 志津川地区の予測値 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

### 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>

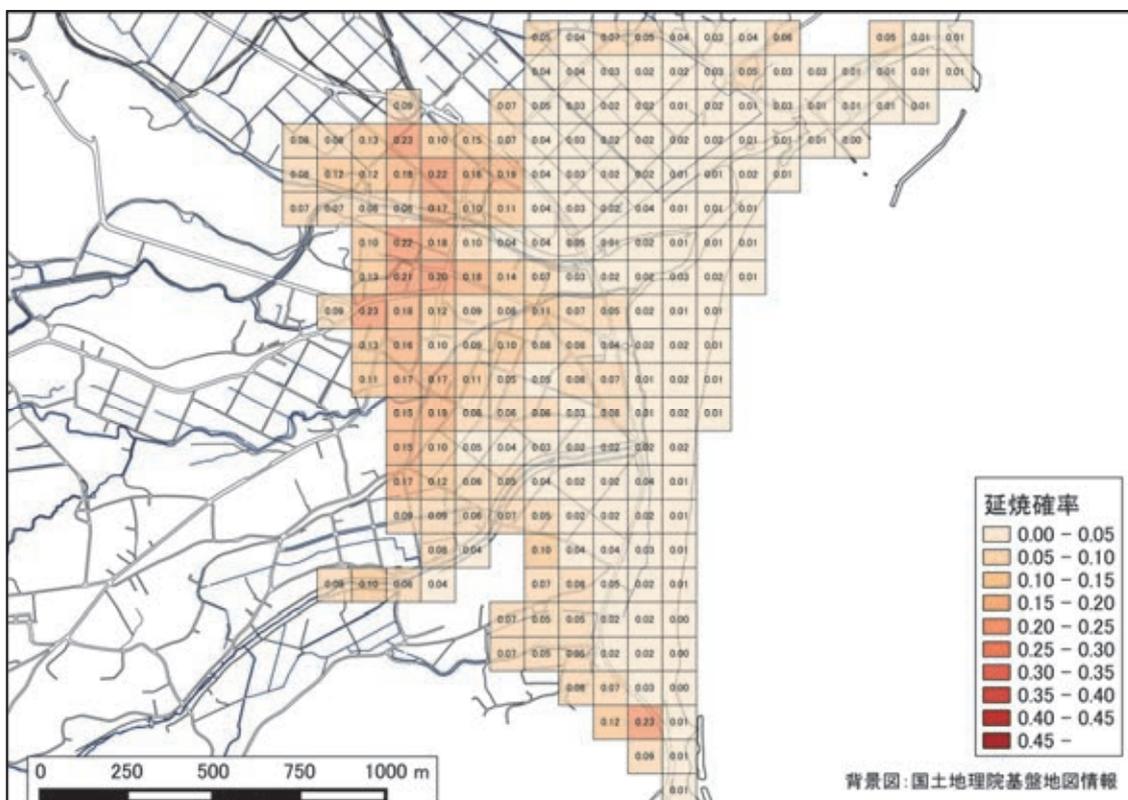


図 3.3.28 野田地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

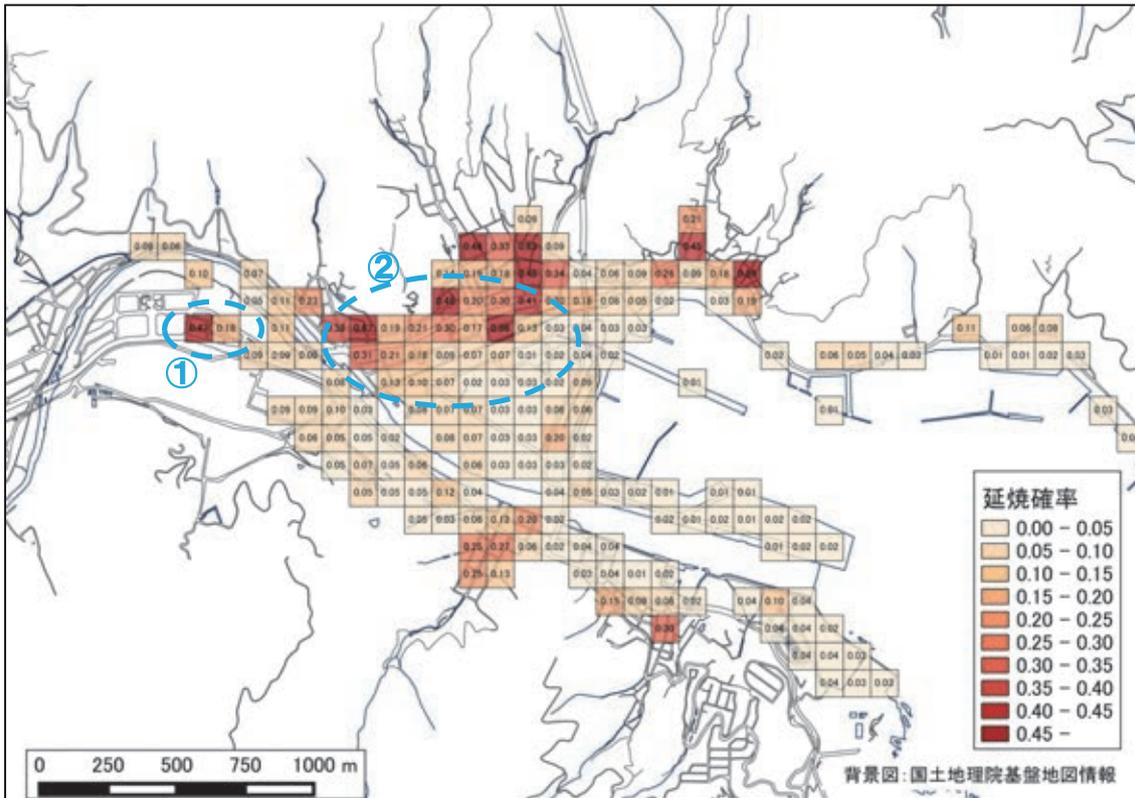


図 3.3.29 釜石地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

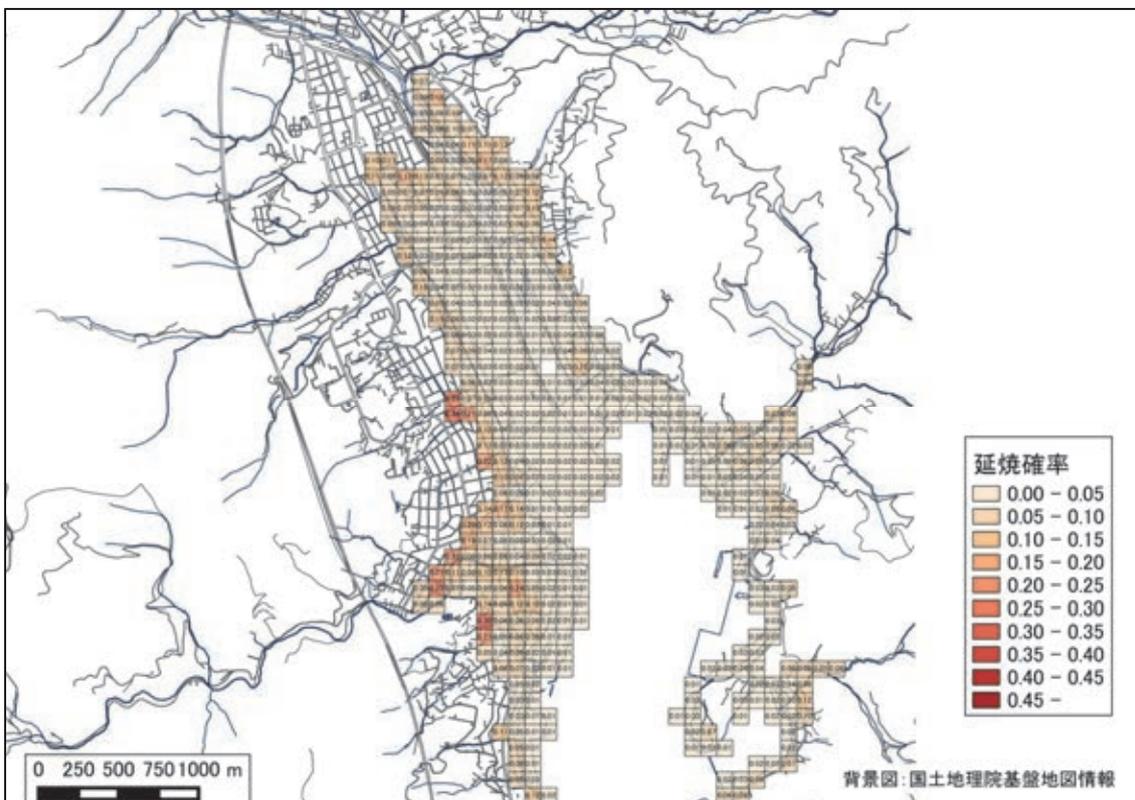


図 3.3.30 大船渡地区への適用結果 (E[Bf]、メッシュ単位、三陸) <sup>18)</sup>をもとに作成

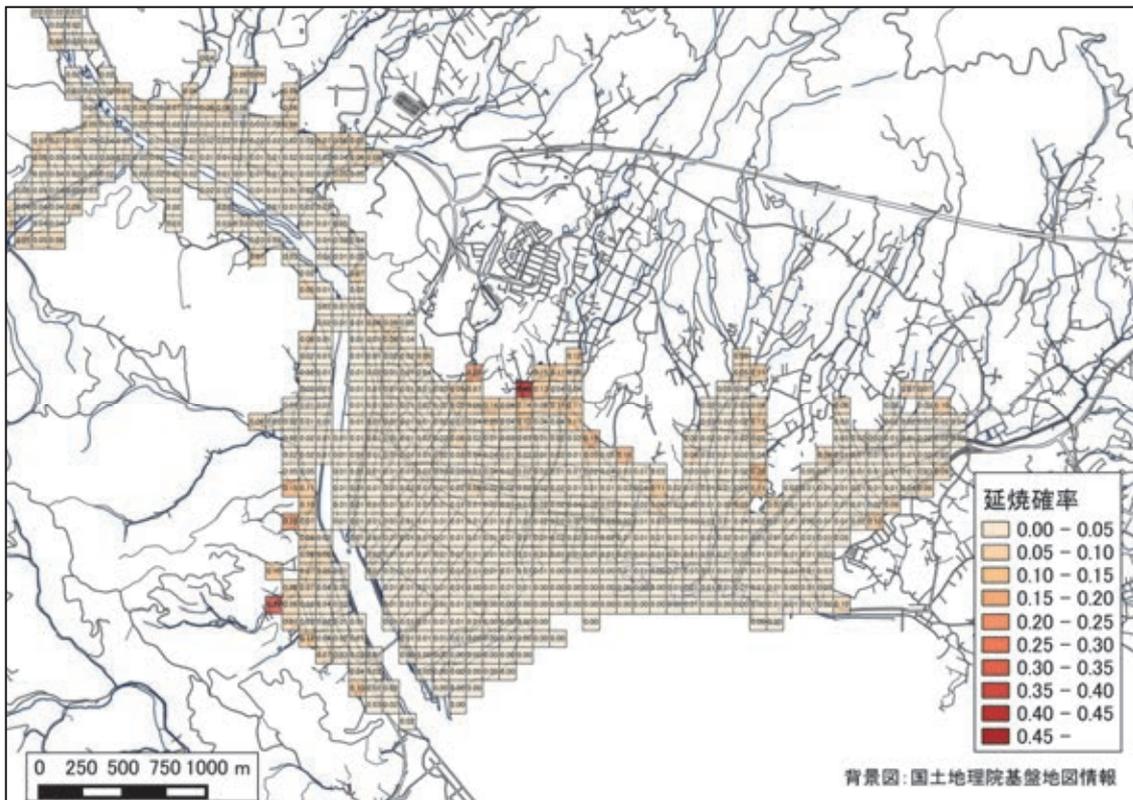


図 3.3.31 陸前高田地区への適用結果 ( $E[Bf]$ 、メッシュ単位、三陸)<sup>18)</sup>をもとに作成

### (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。

### 3.4 構築したリスクモデルの活用に関する考察

#### 3.4.1 他の地震や地域への適用方法の提案

3.3の検討を踏まえて、本研究で構築した東北地方太平洋沖地震の三陸の津波火災事例に基づくリスクモデル（以下モデル）を他の地震や地域へ適用して、津波火災を評価する方法として、図3.4.1のフロー案を提案する。

なお、構築したモデルには不確実性（延焼範囲内の建物の延焼前の状況の推定方法による違い、偏回帰係数の信頼区間、予測値の予測区間など）があるため、結果は幅で示す必要がある。また、結果の確認が不可欠であることに留意されたい。

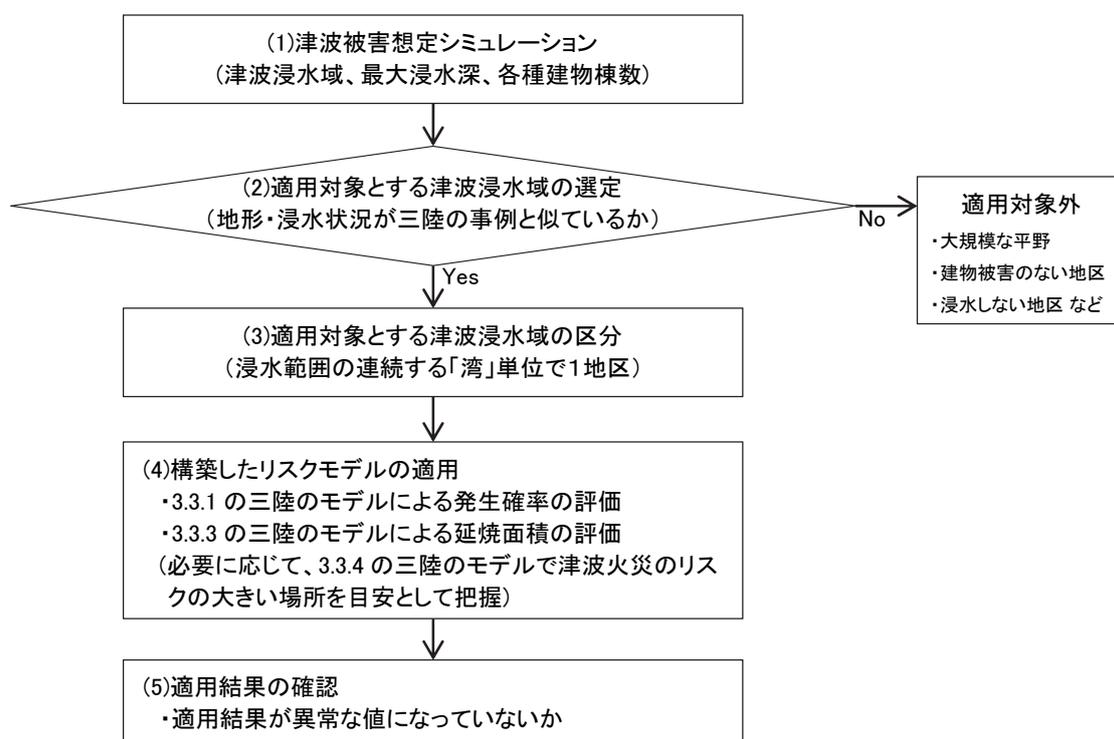


図 3.4.1 他の地震や地域への適用方法のフロー案

#### 3.4.2 他の地震や地域への適用時の留意事項

モデルを、他の地震や他の地域へ適用する上での留意事項を列挙する。

##### (1) 大規模な平野への適用には再現性などの課題があること

大規模な平野への適用に再現性などの課題のあるものなので、留意が必要である。

なお、分析対象地区のうち石巻東地区以南の大規模な平野にモデルを強引に適用した例を図3.4.2、図3.4.3に示す。航空写真と見比べて、発生確率については石巻西地区、仙台港南地区を過小評価、塩釜地区については過大評価、延焼面積については石巻西地区で過大評価する印象（縦軸の桁に留意されたい）で、違和感のある評価結果となった。

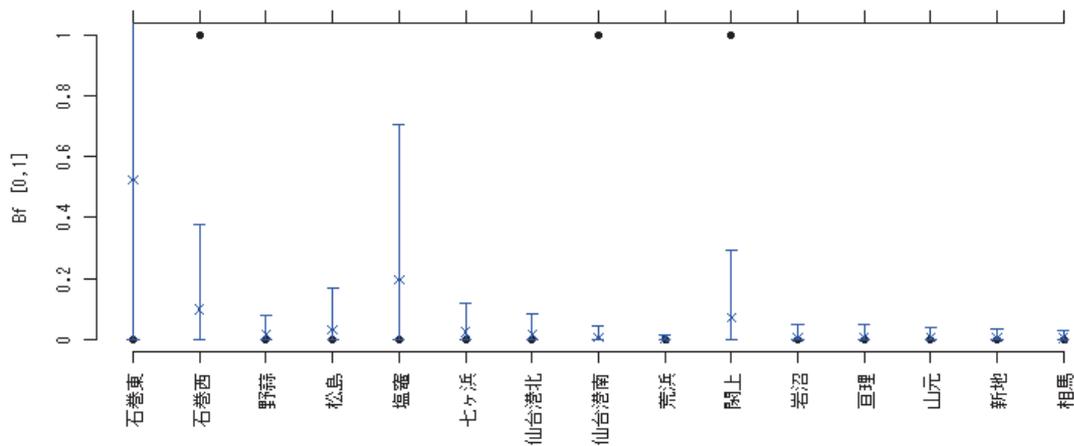


図 3.4.2 No.17の平野への適用 ( $B_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

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

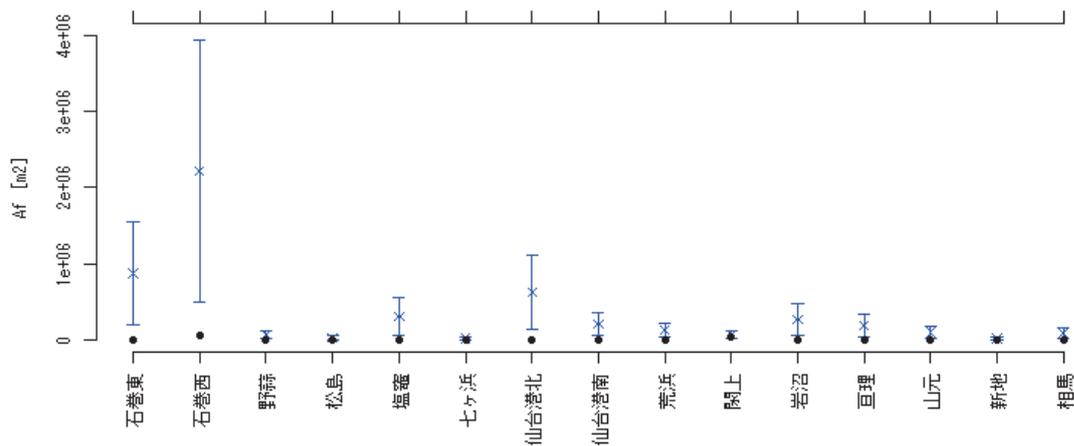


図 3.4.3 No.6の平野への適用 ( $A_f$ 、地区単位、三陸、被害関数)

(●: データ、×:  $E[A_f]$ 、棒:  $E[A_f]$ の95%信頼区間、縦軸の桁に留意されたい)

## (2) 東北地方太平洋沖地震との諸条件の違いが考慮できないこと

### 1) 地域・季節・時間帯による火気使用状況の違いの不考慮

東北地方太平洋沖地震発生日は、その気温 (表 3.4.1) から石油ストーブなど暖房器具が使用されていたと考えられる。また、同地震の発生時刻<sup>24)</sup>から調理器具があまり使用されていなかったと考えられる。

このため、津波火災が温暖な地域や季節に発生する場合にリスクを過大評価する可能性や、逆に夕食時に発生する場合にリスクを過小評価する可能性などに留意が必要である。

### 2) 風向・風速の違いの不考慮

東北地方太平洋沖地震の発生時刻から当日夜にかけて、三陸では陸から海に向かって弱

い西風がおおむね吹いていたと考えられる（表 3.4.1）。

風向きが別の方向であった場合や、加えて強い風が吹いていた場合には、津波火災によってより広範囲が延焼した可能性が考えられるため、リスクを過小評価する可能性に留意が必要である。

表 3.4.1 東北地方太平洋沖地震発生日の三陸の 1 時間毎の気象条件<sup>24)</sup>をもとに作成

時	気仙沼			釜石			久慈		
	気温[°C]	風速[m/s]	風向	気温[°C]	風速[m/s]	風向	気温[°C]	風速[m/s]	風向
15	1.5	2.8	北西	5.0	2.9	西南西	4.5	2.8	西北西
16	1.7	1.8	西南西	///	2.1	西北西	3.3	3.4	南西
17	-0.3	0.7	北西	///	3.3	西南西	2.4	2.7	西南西
18	-0.4	1.3	西	///	///	///	0.4	3.0	南西
19	-0.5	2.2	西北西	///	2.8	西北西	1.1	2.1	西南西
20	-0.8	3.3	北西	///	1.2	西北西	0.7	1.9	西
21	-1.3	2.2	西北西	///	4.6	西	0.2	2.1	西北西
22	-1.8	1.1	西北西	///	1.5 )	西 )	0.0	1.7	西南西
23	-2.1	1.9	西	///	///	///	-0.1	2.4	西
24	-1.6	2.0	西北西	///	0.9 )	北 )	-0.2	3.9	西

※ ///は欠測または観測を行っていない場合を、)は準正常値を示す。

### 3) 地区の特色の違いの不考慮

船や木などの漂流物の多い地区ではその衝突により発生するガレキの量が多くなる可能性が、発熱量の大きいものを取り扱う作業場や LP ガスボンベの集積場のある地区ではガレキがより燃えやすくなる可能性が考えられる。また逆に、鉄筋コンクリート造の割合の高い地区では発生するガレキの量が少なくなる可能性が考えられる。

このような地区の特色によって、リスクを過小にも過大にも評価する可能性に留意が必要である。

### 4) 消防・減災の効果の違いの不考慮

東北地方太平洋沖地震では公設消防や消防団、住民が津波火災の抑制に一部成功した<sup>4,5,7,8)</sup>。より過酷な条件下でのリスクを過小評価する可能性や、逆に津波火災をより抑制できる場合のリスクを過大評価する可能性に留意が必要である。

また、LP ガスの流出や放出の防止などには津波火災の減災効果のある可能性が考えられるが、その効果はよく分かっていない。津波火災に効果的な対策が普及した場合のリスクを過大評価する可能性に留意が必要である。

## 5) 地震や津波の特徴の不考慮

東北地方太平洋沖地震では、地震の規模に対して地震の揺れによる建物の倒壊が少なかった。仮に建物が多く倒壊する場合は、そのガレキも津波によって漂流することになるため、津波の小さい地域でも津波火災の発生しやすくなる可能性が考えられる。また、このような地震の場合は、地震により直接的に起因する火災と津波火災が相乗する可能性も考えられる。

また、東北地方太平洋沖地震では、広域が長時間湛水した。水面上にあって空気にさらされる可燃物の量が減ることによって津波火災を抑制した側面と、炎上したガレキが漂流することによって津波火災を促進した側面の両方が考えられる。

地震や津波の特徴によって、リスクを過小にも過大にも評価する可能性に留意が必要である。

### (3) その他モデル対象外のリスクがあること

湾上で発生した気仙沼市の事例や製油所で発生した仙台市の事例、3日後に発生した気仙沼市の事例については、建物間の延焼メカニズムが異なり、他の津波火災事例と同列に扱うことができない可能性があるため、本研究の対象外とした。これらの事例のリスクは評価できないものであることに留意が必要である。

また、東北地方太平洋沖地震では発生しなかった特殊なリスクが隠れている可能性もある。

## 3.4.3 津波火災の減災に向けた考察

### (1) 津波火災の発生の抑制

本研究では、津波により流失する建物棟数が多いほど津波火災が発生しやすくなるモデルが構築できた。津波火災の発生メカニズムは十分に解明されていないが、流失する建物棟数が少なくなるよう、①津波危険の少ない地域に建物を事前に移転する、②津波荷重を考えた建物の設計<sup>25)</sup>を行う、③堤防など津波防護手段を充実する、などの対策が津波火災の発生の抑制に有効であると考えられる。

### (2) 津波火災の延焼の抑制

本研究では、津波による流失を免れた建物棟数が多いほど津波火災が延焼しやすくなるモデルが構築できた。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。このため、個々の建物の不燃化や隣棟間隔の確保など、地震により直接的に起因する火災の延焼を抑制するために行われている様々な対策が、津波火災の延焼の抑制にも有効であると考えられる。

### (3) 津波火災の延焼しやすい場所の回避

発生確率（地区単位）の高いと考えられる地区では、延焼確率（メッシュ単位）の高いと考えられるメッシュを避けることが、津波火災による被害の抑制に有効であると考えられる。

## 第4章 まとめ

### 4.1 まとめ

本研究では、津波火災による被害の予測に関する基礎的な研究として、東北地方太平洋沖地震の事例に基づくリスクモデルの構築を検討した。第3章までの検討内容を以下にまとめる。

「第1章 研究の概要」では、本研究の背景・目的、研究の概要を示した。東北地方太平洋沖地震では津波浸水域の至るところで小規模な火災が発生したが、そのメカニズムの多くが未解明である上、全数を把握することができない。そこで、全数のある程度分かる、津波浸水域で発生した建物間の延焼火災に焦点を絞って、リスクモデルの構築を検討することとした。

「第2章 ガレキ堆積状況と津波火災との関係の考察」では、第3章の基礎的な検討として、航空写真および航空レーザ測量データなどを用いて、東北地方太平洋沖地震の津波によるガレキ堆積状況を把握し、津波火災との関係を考察した。女川地区から北側の三陸海岸と石巻東地区から南側の大規模な平野部ではガレキ堆積状況が異なり、津波火災のリスクが前者と後者と異なっていたと考えられることが分かった。

「第3章 事例に基づくリスクモデルの構築」では、第2章の考察に基づいて、東北地方太平洋沖地震の津波火災事例を三陸海岸とそれ以南の大規模な平野部で区別し、津波火災の発生確率や延焼面積などについて、回帰モデルの構築を検討した。

その結果、三陸海岸の事例について、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段階の回帰モデルが構築できた。津波火災の発生確率は流失した建物の密度で、津波火災の延焼面積は流失を免れた建物の数で主に説明する回帰モデルである。この参考として、津波火災の発生件数の回帰モデル、地区内の津波火災のリスクの大きい場所の目安の分かる回帰モデルも構築した。

また、構築したリスクモデルの活用に関して、他の地震や地域に適用するための方法などを考察した。構築したリスクモデルは、大規模な平野への適用には再現性などの課題があること、東北地方太平洋沖地震との諸条件の違いが考慮できないことなどに留意が必要である。

### 4.2 今後の課題

最後に、第3章までの検討内容を踏まえて、今後の課題を取りまとめた。

### (1) 本研究で構築したリスクモデルの改良

東北地方太平洋沖地震以外の国内外の津波火災事例について情報を収集し、リスクモデルの構築に使用するデータの数を増やすことが、構築したリスクモデルの精度向上や大規模な平野における再現性の良いリスクモデルの構築につながる可能性が考えられる。

ただし、国内の津波火災事例については、現状では 1993 年北海道南西沖地震による奥尻島の事例以前のものしかなく、情報収集に制約がある。海外の津波火災事例については、情報収集の制約に加えて、国内と国外の諸条件の違いの取り扱いに留意が必要である。

### (2) より工学的なリスクモデルの構築

本研究で構築したリスクモデルでは、東北地方太平洋沖地震との諸条件の違いを考慮することが難しい。そこで、より工学的なリスクモデルの構築が理想となる。

本研究では、①津波来襲後に至るところで発生した小規模な火災のメカニズムの多くが未解明である、②ガレキ堆積状況を精度よく予測することが難しい、③個々の建物の流失の状況を精度よく予測することが難しいなど、現在の種々の制約のもと、回帰モデルの構築を検討した。

将来、技術が発展し、このような制約が解消されれば、部分的にでもより工学的なモデルに置き換えることで、構築したリスクモデルの精度向上につながる可能性が考えられる。

### (3) 本研究の対象外としたリスクモデルの構築

湾上で発生した気仙沼市の事例や製油所で発生した仙台市の事例、3 日後に発生した気仙沼市の事例については、建物間の延焼メカニズムが異なり、他の津波火災事例と同列に取扱うことができない可能性があるため、本研究の対象外とした。また、東北地方太平洋沖地震では発生しなかった特殊なリスクが隠れている可能性もゼロではない。

これらのリスクの大きさを評価可能なモデルの構築が望まれる。

## 参考文献

- 1) 東日本大震災等調査報告書（速報版）、日本火災学会 東日本大震災調査委員会 編集、2011年11月
- 2) 関澤 愛、東日本大震災における火災の全体像と津波起因火災の考察、消防科学と情報、No.108 2012. 春、6-11
- 3) Akihiko Hokugo, Tomoaki Nishino, and Takuya Inada, Tsunami Fires After the Great East Japan Earthquake, Journal ref: Journal of Disaster Research, Vol.8, No.4 pp. 584-593, 2013
- 4) 石巻地区広域行政事務組合消防本部、東日本大震災 3.11 石巻広域の消防活動記録、<http://isyoubou.jp/higashinihonkirokusi/higashinihon-kirokusi.html>
- 5) 気仙沼・本吉地域広域行政事務組合消防本部、東日本大震災の消防活動の記録、[http://www.km-fire.jp/images\\_higashi/higashikatudou.pdf](http://www.km-fire.jp/images_higashi/higashikatudou.pdf)
- 6) 西野 智研、北後 明彦、映像記録の観察を中心とした津波避難ビル周辺で発生する火災の事例研究、日本火災学会論文集、Vol.63 No.1 2013、1-8
- 7) 北後 明彦、東日本大震災における津波火災への対応と2次避難、消防科学と情報、No.108 2012. 春、26-30
- 8) 天笠 雅章、糸井川 栄一、梅本 通孝、津波起因火災における消火活動実態と消火活動困難性に関する研究 - 2011 年東北地方太平洋沖地震における被災地域を対象として -、日本火災学会論文集、Vol.62 No.2・3 2012、33-48
- 9) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）、平成24年8月29日、[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/index.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/index.html)
- 10) 亀井 幸次郎、川越 邦雄、新潟地震の火災調査概報、建築雑誌 VOL.80 No.955、pp.391-401
- 11) 座間 信作、関澤 愛、1993年北海道南西沖地震とその被害について、消研輯報、第47号 1994.3、pp.3-11
- 12) 廣井 悠、津波火災に関する東日本大震災を対象とした質問紙調査の報告と出火件数予測手法の提案、地域安全学会論文集、No.24、pp.1-11、2014.11
- 13) 西野 智研、北後 明彦、津波火災の発生件数の予測手法 その1 出火記録の信頼度不明を考慮した統計モデルの推定、平成27年度日本火災学会研究発表会概要集(2015.5)、266-267
- 14) 今津 雄吾、野竹 宏彰、北後 明彦、今村 文彦、東日本大震災で発生した津波火災における地形的影響の考察と津波火災危険度指標の提案、自然災害科学、Vol.33、No.2、pp.127-143、2014
- 15) 国土交通省、報道発表資料 東日本大震災における緊急排水対策について、[http://www.mlit.go.jp/report/press/river03\\_hh\\_000320.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000320.html)

- 16) 国土交通省国土地理院、平成 23 年（2011 年）東日本大震災に関する情報提供、  
[http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23\\_tohoku.html](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html)
- 17) 福岡 巧巳、越村 俊一、航空写真と LiDAR データの統合解析による津波瓦礫の 3 次元マッピング、土木学会論文集 B 2（海岸工学）、Vol. 69、No. 2、2013、I\_1436-I1440
- 18) 国土交通省国土地理院、基盤地図情報サイト、<http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 19) 復興支援調査アーカイブ、<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>
- 20) 一般社団法人 日本ガス協会、経済産業省 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー一部会 ガス安全小委員会 災害対策ワーキンググループ（第 1 回）配付資料 資料 2-2 一般ガス事業者の被害状況、平成 23 年 8 月 4 日、  
[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/toshinetsu/saigai\\_taisaku\\_wg/001\\_02\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/toshinetsu/saigai_taisaku_wg/001_02_02.pdf)
- 21) 国土交通省、東日本大震災からの津波被災市街地復興手法検討調査のとりまとめについて、<http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi-hukkou-arkaibu.html>
- 22) 久保 拓弥、データ解析のための統計モデリング入門 一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC、岩波書店、2012
- 23) エリオット・ソーバー（著）、松王 政浩（翻訳）、科学と証拠 - 統計の哲学 入門、名古屋大学出版会、2012
- 24) 気象庁、<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 25) 一般社団法人 日本建築学会、建築物荷重指針・同解説（2015）、丸善出版株式会社、2015、563-592

## 謝辞

本研究のため、国土交通省国土地理院、岩手県、宮城県より航空レーザ測量データ等の資料を使用させていただいた。快く応じていただいたことに、感謝の意を表す。

また、統計解析および一部の図の描画には、統計ソフト R (R Core Team, 2013) を使用した。ここに記して感謝の意を表す。

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

(白紙)

## 付録

【付録 1】 ガレキ堆積状況の回帰分析と考察 .....	85
【付録 2】 構築したリスクモデルの南海トラフの巨大地震への適用例 .....	89

(白紙)

## 【付録 1】 ガレキ堆積状況の回帰分析と考察

第 2 章のガレキの堆積高さを 100m メッシュごとに集計し、第 3 章のメッシュ単位のデータと組み合わせて、第 3 章と同様の回帰分析を行った結果を表 1、表 2 に示す。2.1.3 と同様に、女川地区から北側の三陸海岸と石巻東地区から南側の大規模な平野部では様相が異なり、津波火災のリスクが前者と後者と異なっていたと考えられる。

なお、津波火災の発生した地区についてはガレキの焼失の影響があることから、分析対象外とした。

表 1 回帰分析結果 (100m メッシュごと) のガレキの有無、各地区の AIC 最小モデル

県	地区名		メッシュ数	定数項		NHI		Dw		SL		Be		null. deviance	
	市区町村	地区		係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値		
岩手	野田村	野田	217	1.0E+0	0.0	1.3E-1	0.0	-	-	-5.5E-2	0.1	-	-	213	
	田野畑村	田野畑	62	5.7E-2	0.9	1.9E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	40	
	岩泉町	岩泉	131	2.2E-1	0.5	3.3E-1	0.0	-	-	5.9E-2	0.1	-2.0E+0	0.1	137	
	宮古市	津軽石	181	2.0E+0	0.0	-6.8E-2	0.0	-	-	3.7E-1	0.0	-	-	114	
	山田町	北浜町	62	1.9E+1	0.2	3.0E+1	0.2	-	-	-5.4E+0	0.2	-	-	5	
	大槌町	吉里吉里	60	6.4E-2	0.9	1.4E+0	0.1	-	-	-	-	-	-	19	
	釜石市	鶴住居	212	1.8E+0	0.0	3.3E-1	0.0	-	-	-	-	-	-	87	
	大船渡市	釜石	釜石	179	-2.0E-1	0.7	6.1E-2	0.0	3.8E-1	0.0	-1.0E-1	0.1	1.9E+0	0.1	107
		越喜来	越喜来	49	-1.3E+0	0.3	-	-	-	-	2.3E+0	0.1	-	-	15
		大船渡	大船渡	483	1.4E+0	0.0	4.2E-1	0.0	-1.0E-1	0.1	-	-	-	-	270
		陸前高田市	陸前高田	730	2.1E+0	0.0	6.6E-1	0.0	-	-	-	-	-1.0E+0	0.1	236
		気仙沼市	本吉	291	3.7E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	66
		南三陸町	歌津	90	5.4E+0	0.0	4.9E-1	0.3	-	-	-2.1E-1	0.1	-	-	26
		女川町	女川	276	4.3E-1	0.1	3.3E-1	0.0	-	-	-	-	-	-	157
	石巻市	石巻市	石巻東	823	-8.0E-1	0.0	5.1E-2	0.0	8.2E-1	0.0	-	-	-	-	532
		東松島市	野蒜	543	5.4E-1	0.2	7.5E-2	0.0	-3.7E-1	0.0	5.6E-2	0.0	-	-	609
		松島町	松島	64	-3.9E+0	0.0	-	-	1.9E+0	0.0	-	-	-	-	56
塩釜市		塩竈	340	-2.1E+0	0.0	-	-	1.7E+0	0.0	-	-	-2.5E+0	0.0	339	
七ヶ浜町		七ヶ浜	278	7.3E-1	0.0	-	-	1.3E-1	0.1	-9.8E-2	0.1	1.4E+0	0.0	320	
仙台市宮城野区		仙台港北	595	-1.8E-1	0.4	-3.8E-2	0.0	4.4E-1	0.0	-1.7E-1	0.0	-	-	741	
仙台市若林区		荒浜	1,617	1.1E+0	0.0	1.4E-1	0.0	-	-	-2.7E-1	0.0	-	-	1,808	
岩沼市	岩沼	岩沼	2,541	-7.5E-1	0.0	3.8E-1	0.0	3.0E-1	0.0	-	-	-	-	3,055	
	亘理町	亘理	1,681	-8.1E-1	0.0	2.9E-1	0.0	2.7E-1	0.0	7.0E-1	0.0	-	-	1,845	
	山元町	山元	909	-1.6E+0	0.0	1.4E-1	0.0	-2.9E-1	0.0	-	-	-	-	615	
	新地町	新地	375	4.5E-2	0.8	3.0E-1	0.0	2.7E-1	0.0	-	-	-	-	343	
相馬市	相馬	846	-5.4E-1	0.0	2.0E-1	0.0	2.3E-1	0.0	-	-	-9.5E-1	0.0	1,028	1,169	

※1 統計解析ソフト R 3.0.1 の glm() を用いて分析した。リンク関数は logit、確率分布はベルヌーイ分布を設定した。記号などは第 3 章を参照のこと。  
 ※2 偏回帰係数の値が全地区の中央値 (一のセルは 0 として計算) よりも大きいセルに赤影を、小さいセルに青影を付けた。  
 ※3 偏回帰係数の P 値が 0.25 より大きいセルに灰影を付けた。

表 2 回帰分析結果 (ガレキ有りの 100m メッシュごととのガレキの量、各地区の AIC 最小モデル)

県	地区名		メッシュ数	定数項		NH1		Dw		SL		Be		null. deviance		
	市区町村	地区		係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値	係数	P値			
岩手	野田村	野田	168	6.5E+0	0.0	4.1E-2	0.0	-4.6E-2	0.1	-	-	-5.0E-1	0.0	242		
	田野畑村	田野畑	49	6.0E+0	0.0	7.7E-2	0.0	-3.0E-2	0.1	-4.4E-2	0.0	-	-	51		
	岩泉町	岩泉	93	6.1E+0	0.0	5.5E-2	0.0	-8.2E-2	0.0	-3.2E-2	0.1	-	-	181		
	宮古市	津軽石	160	6.0E+0	0.0	5.1E-2	0.0	-6.0E-2	0.0	-5.2E-2	0.1	6.6E-1	0.0	207		
	山田町	北浜町	59	6.7E+0	0.0	6.0E-2	0.0	-3.5E-1	0.0	-	-	-1.2E+0	0.0	43		
	大槌町	吉里吉里	55	6.2E+0	0.0	4.8E-2	0.0	-	-	-9.1E-2	0.0	-	-	52		
	釜石市	鶴住居	198	7.2E+0	0.0	5.1E-2	0.0	-2.0E-1	0.0	-	-	-	-	340		
	大船渡市	釜石	釜石	154	5.9E+0	0.0	3.8E-2	0.0	6.3E-2	0.1	-	-	3.3E-1	0.2	205	
			越喜来	45	5.1E+0	0.0	1.5E-1	0.0	-	-	-	-	-4.9E+0	0.0	73	
			大船渡	420	6.3E+0	0.0	6.0E-2	0.0	-	-	-3.5E-2	0.0	-	-	600	
			陸前高田市	陸前高田	694	6.4E+0	0.0	7.0E-2	0.0	-6.3E-2	0.0	3.9E-2	0.0	-	-	999
			気仙沼市	本吉	284	5.1E+0	0.0	1.1E-1	0.0	-2.0E-2	0.1	6.1E-2	0.0	-	-	360
			南三陸町	歌津	85	6.2E+0	0.0	6.1E-2	0.0	-	-	-2.5E-2	0.1	-	-	71
			女川町	女川	238	6.4E+0	0.0	5.5E-2	0.0	-3.3E-2	0.0	-2.4E-2	0.0	3.8E-1	0.0	236
	石巻市	石巻東	石巻東	701	4.9E+0	0.0	5.1E-2	0.0	2.8E-1	0.0	-9.8E-2	0.0	1.3E+0	0.0	1,066	
			野蒜	218	5.0E+0	0.0	6.1E-2	0.0	-1.2E-1	0.0	-	-	4.9E-1	0.0	338	
			松島町	14	2.8E+0	0.0	-	-	-	-	1.8E-1	0.0	-5.4E+0	0.0	31	
塩釜市			塩釜	138	5.3E+0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	334		
七ヶ浜町			七ヶ浜	199	5.3E+0	0.0	6.7E-2	0.0	-9.1E-2	0.1	-	-	5.5E-1	0.0	375	
仙台市宮城野区			仙台港北	355	5.9E+0	0.0	-	-	-	-	-1.6E-1	0.0	-	-	994	
仙台市若林区	荒浜	荒浜	1,173	4.4E+0	0.0	6.5E-2	0.0	-	-	-	-	-	-	3,696		
		岩沼市	1,451	4.6E+0	0.0	1.3E-1	0.0	-	-	4.6E-1	0.0	-	-	4,106		
		亘理町	1,099	4.8E+0	0.0	1.1E-1	0.0	-9.9E-2	0.0	-	-	-	-	1,975		
		山元町	118	4.1E+0	0.0	1.0E-1	0.0	-	-	9.9E-1	0.0	-	-	173		
		新地町	293	3.6E+0	0.0	7.4E-2	0.0	-	-	4.8E-1	0.0	-1.7E+0	0.0	510		
相馬市	相馬	453	4.2E+0	0.0	4.0E-2	0.0	1.7E-1	0.0	1.3E-1	0.0	-	-	1,167			

※1 統計解析ソフト R 3.0.1 の glm() を用いて分析した。リンク関数は log、確率分布はガンマ分布を設定した。記号などは第 3 章を参照のこと。  
 ※2 偏回帰係数の値が全地区の中央値 (一のセルは 0 として計算) よりも大きいセルに赤影を、小さいセルに青影を付けた。  
 ※3 偏回帰係数の P 値が 0.25 より大きいセルに灰影を付けた。

(白紙)

## 【付録2】構築したリスクモデルの南海トラフの巨大地震への適用例

南海トラフの巨大地震を想定したときに、本研究の分析対象地区（三陸）と地形・浸水状況が類似すると考えられる静岡県下田市、三重県尾鷲市、高知県須崎市の3地区に対し、構築したリスクモデルの適用を図1の手順で試みた結果を示す。

なお、ここで取り上げる南海トラフの巨大地震は、内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された「千年に一度あるいはそれよりもっと発生頻度が低い」<sup>(注1)</sup>地震である。より発生頻度の高い南海トラフの地震に本研究で構築したリスクモデルを適用すると、適用結果が南海トラフの巨大地震に適用した場合とはまったく異なる場合がある。本研究で構築したリスクモデルを実際の検討に用いる場合は、その目的に照らして、様々な地震を想定して総合的に検討するなど工夫する必要がある。

(注1) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）、平成25年5月

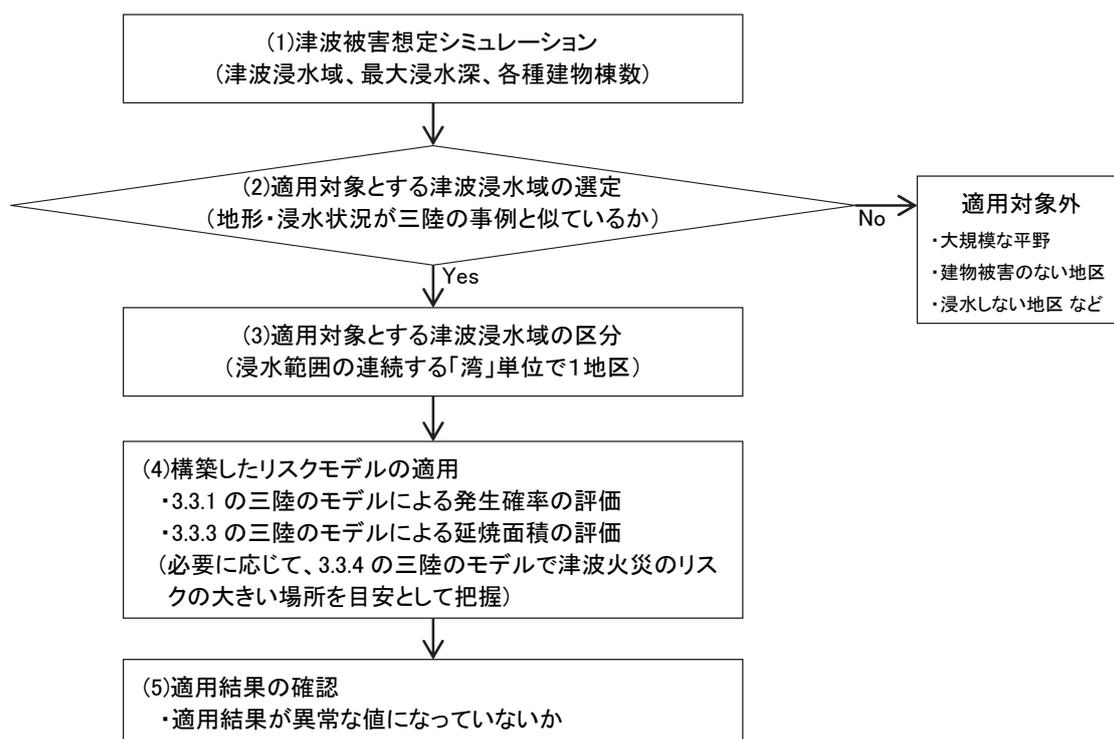


図1 他の地震や地域への適用方法のフロー案（図3.4.1を再掲）

### (1) 津波被害想定シミュレーション

内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された南海トラフの巨大地震の基本5ケースの10mメッシュ別最大浸水深のデータのうち、内閣府 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループにおいて検討された全壊棟数が、それぞれの地区の属する県で最大となるケース<sup>9)</sup>のデータを用いた。

10mメッシュ別最大浸水深から100mメッシュごとに最大浸水深の平均を求め(図7、図9、図11)、それぞれの100mメッシュに含まれる建物の数<sup>(注2)</sup>に被害関数<sup>(注3)</sup>を乗じて、津波浸水域内の流失する建物の数( $NH1-NH2$ )と流失を免れる建物の数  $NH2$  を求めた。

(注2) 建物の数はゼンリン製住宅地図(三井造船システム技研株式会社、2012~2013年時点)に基づく。無壁舎を除いて取扱った。

(注3) 被害関数は国土交通省都市局「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)の被災地全体での関係<sup>2)</sup>を用いた。

### (2) 適用対象とする津波浸水域の選定

前述のとおり、南海トラフの巨大地震を想定したときに、分析対象地区(三陸)と地形・浸水状況が類似すると考えられる静岡県下田市、三重県尾鷲市、高知県須崎市の津波浸水域を選定した。

### (3) 適用対象とする津波浸水域の区分

静岡県下田市、三重県尾鷲市、高知県須崎市の津波浸水域を浸水範囲の連続する「湾」単位で区分すると複数の湾に区分できるが、このうち各市の中心部を含む図7、図9、図11に示した浸水範囲をそれぞれ一つの区分(1地区)とし、適用対象とした。リスクモデルの説明変数となる $(NH1-NH2)/Aw$ <sup>(注4)</sup>、 $NH2$ 、 $Dw$ <sup>(注4)</sup>の地区ごとの分布を図4、図5、図6に示す。

(注4)  $Aw$ は浸水面積を、 $Dw$ は最大浸水深の平均値を表す。

### (4) 構築したリスクモデルの適用(図2、図3、図8、図10、図12)

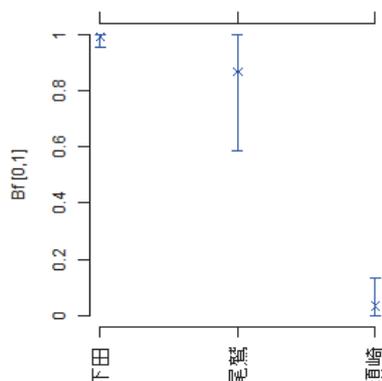


図2 津波火災の発生確率  $Bf$  の評価結果(被害関数、No.17)  
(×:  $E[Bf]$ 、棒:  $E[Bf]$  の95%信頼区間)

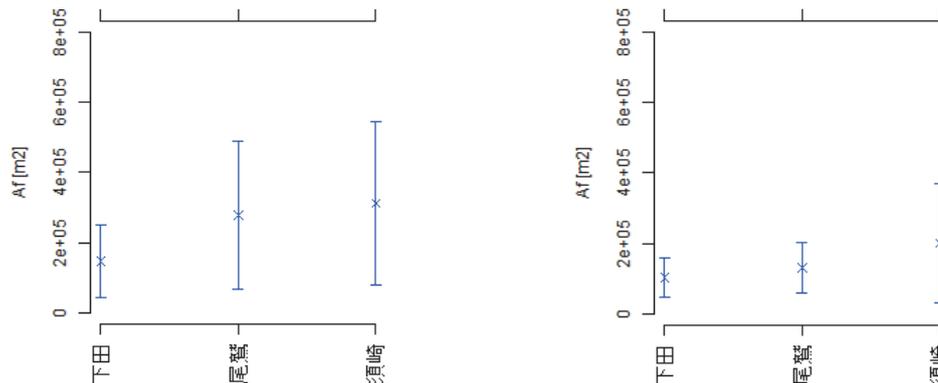


図 3 津波火災が発生した場合の延焼面積  $A_f$  の評価結果 (被害関数、左 : No. 6、右 : No. 13)  
( $\times$  :  $E[A_f]$ 、棒 :  $E[A_f]$  の 95% 信頼区間)

### (5) 適用結果の確認

本研究で構築したリスクモデルには 3.4.2 に記載した課題があり、定式化できていない要素もあるため、確認には主観的なものも含む必要がある。適用結果の確認については、複数の人の意見を集約するなどの方法で客観性を確保することが望ましい。

また、今後の研究の蓄積に応じて、適用結果は随時確認しなおす必要がある。

### 1) 発生確率 (地区単位、図 2、図 4)

#### ① 説明変数の値の比較

- すべての適用対象地区で、説明変数  $(NH1-NH2)/D_w$ 、 $D_w$  の値が本研究の分析対象地区 (三陸) の分布の内側にあり、適用範囲内と考えられる。

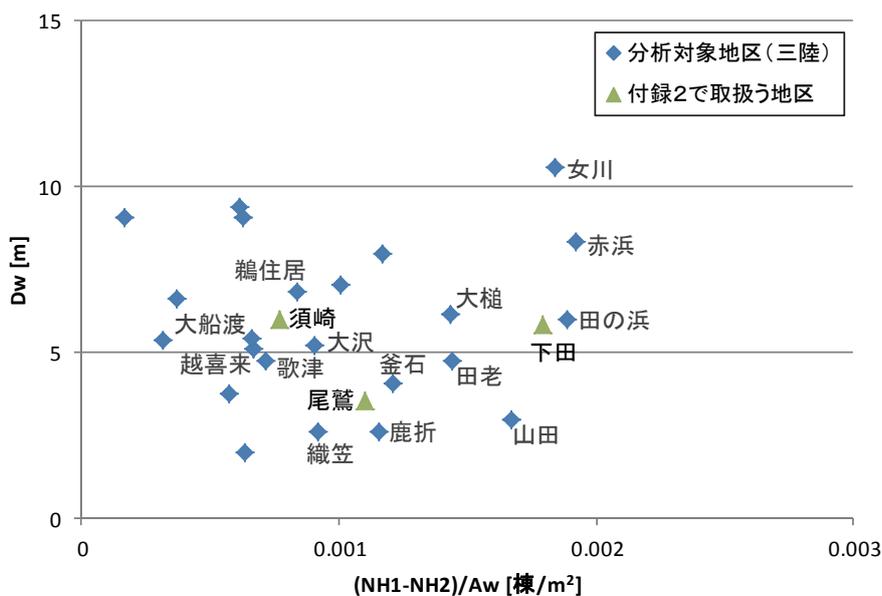


図 4 付録 2 で取扱う地区の  $(NH1-NH2)/A_w$  と  $D_w$  の分布

## ② 説明変数の値の近い地区との地形・浸水状況、航空写真の比較

- ・下田地区、尾鷲地区は、説明変数の値がそれぞれ田の浜地区（図 2.1.3 No.10）、鹿折地区（図 2.1.5 No.19）と近い。これらの地区の地形・浸水状況や航空写真を比較すると類似性が見られるため、それぞれ津波火災の発生確率が近い値となるという適用結果に大きな違和感はない。
- ・須崎地区については、地形・浸水状況や航空写真を比較すると、説明変数の値の近い越喜来地区（図 2.1.4 No.16）などよりも、説明変数の値の離れた大槌地区（図 2.1.4 No.13）と類似性が強い。そこで、地形・浸水状況を見直すと、図 12 の④の範囲については、建物の多い市の中心部を通る矢印イ、矢印ウの方向と異なって、建物の少ない矢印アの方向から津波が入射する。このことから、④以外の範囲とはガレキ堆積状況ひいては津波火災の発生確率が異なると考えられる。そのため、須崎地区の適用結果については、津波浸水域の区分を図 12 の④の範囲と④以外の範囲にさらに区分して見直すことを検討すべきである。

## 2) 延焼面積（地区単位、図 3、図 5、図 6）

### ① 説明変数の値の比較

- ・すべての適用対象地区で、説明変数  $NH2$  の値はモデルの構築に用いた分析対象地区（三陸）の分布の外側か内外の境界にあり、適用対象外とすることも検討すべきである。

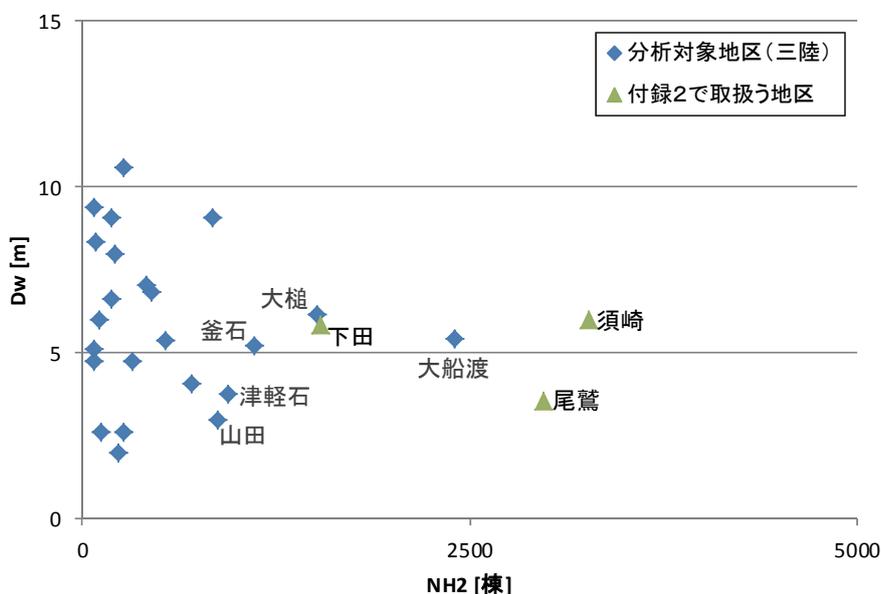


図 5 付録 2 で取扱う地区の  $NH2$  と  $Dw$  の分布

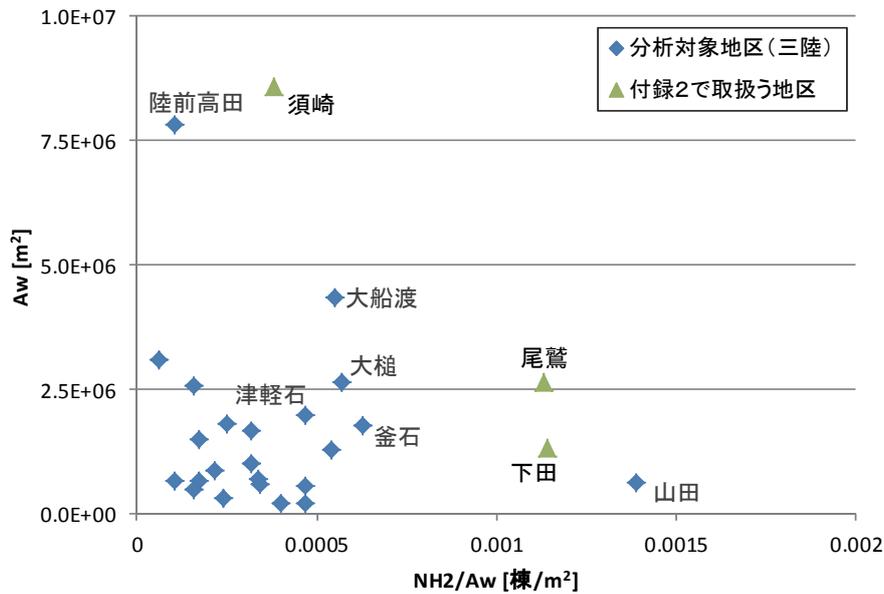


図 6 付録 2 で取扱う地区の  $NH2/Aw$  と  $Aw$  の分布

② 説明変数の値の近い地区との地形・浸水状況、航空写真の比較

- No.6 の説明変数  $NH2$  と  $Dw$  について、下田地区は、説明変数の値が大槌地区（図 2.1.4 No.13）と近い。これらの地区の地形・浸水状況や航空写真を比較すると類似性が見られるため、津波火災の延焼面積が近い値となるという適用結果に大きな違和感はない。他の地区については説明変数の値の近い地区がない。

3) 延焼確率（メッシュ単位、図 7～図 12）

① 適用に問題のある場所（図 3.3.18、図 3.3.28）と類似した場所の把握

- 図 7、図 8 の①の範囲は、図 3.3.28 の①の場所と同様に、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て、ガレキのあまり堆積しない場所と考えられるため、津波火災の延焼確率を過大評価していると考えられる。

② 延焼確率の高いメッシュから延焼する可能性のあるメッシュの把握

- 図 7、図 8 の②および図 9、図 10 の③の範囲が該当する。本研究で構築したモデルでは延焼確率の高いメッシュから別のメッシュに延焼する可能性が考慮できていないため、津波火災の延焼確率を過小評価していると考えられる。図 2.1.3 No.10 田の浜地区のように津波浸水域の外側まで延焼しうる。

適用結果の確認にあたっては、モデルの適用に無理がないか、以上のような観点で確認することが必要だと考えられる。

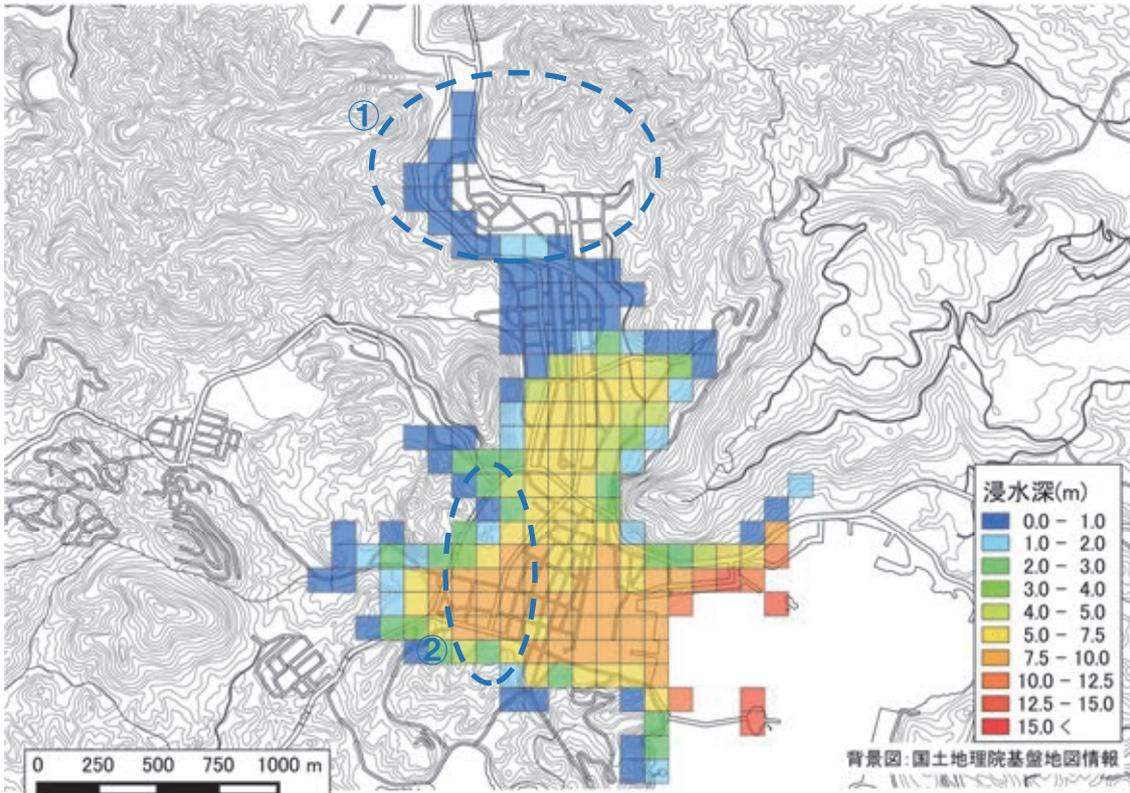


図 7 メッシュ単位の  $D_w$  (下田地区、基本ケース 1) <sup>18)</sup>をもとに作成

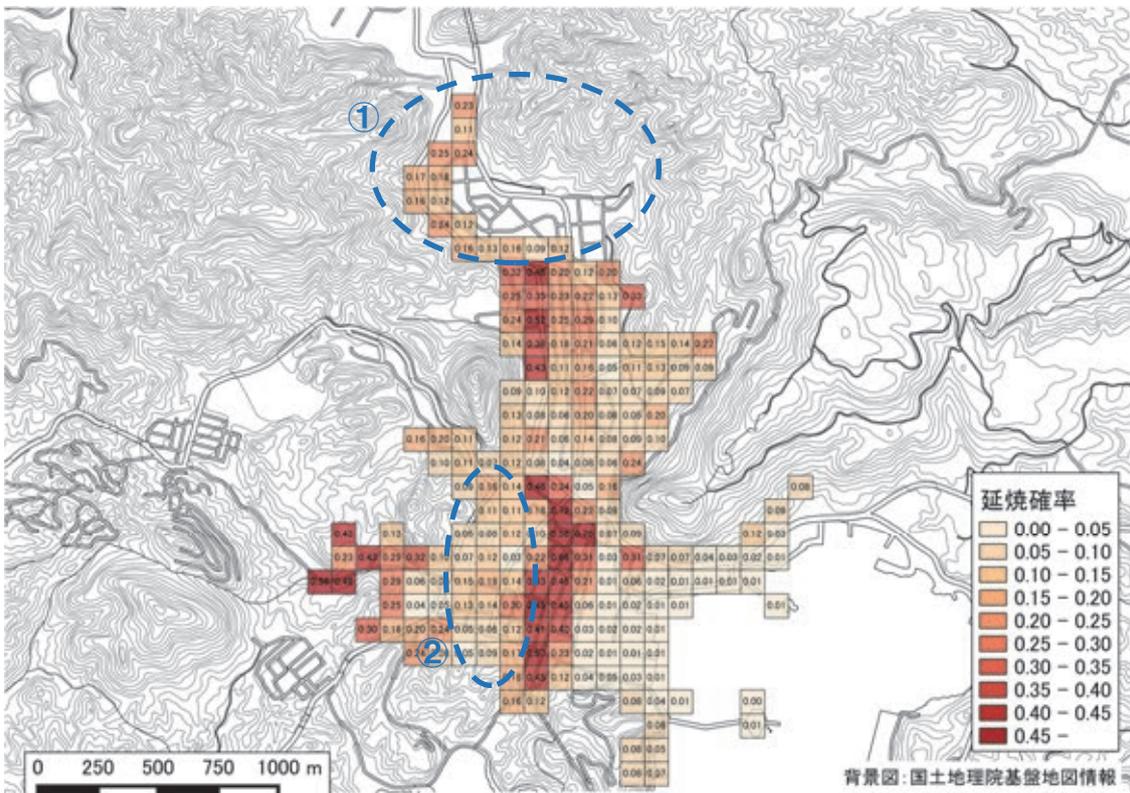


図 8 メッシュ単位の  $E[Bf]$  の評価結果 (下田地区、基本ケース 1) <sup>18)</sup>をもとに作成

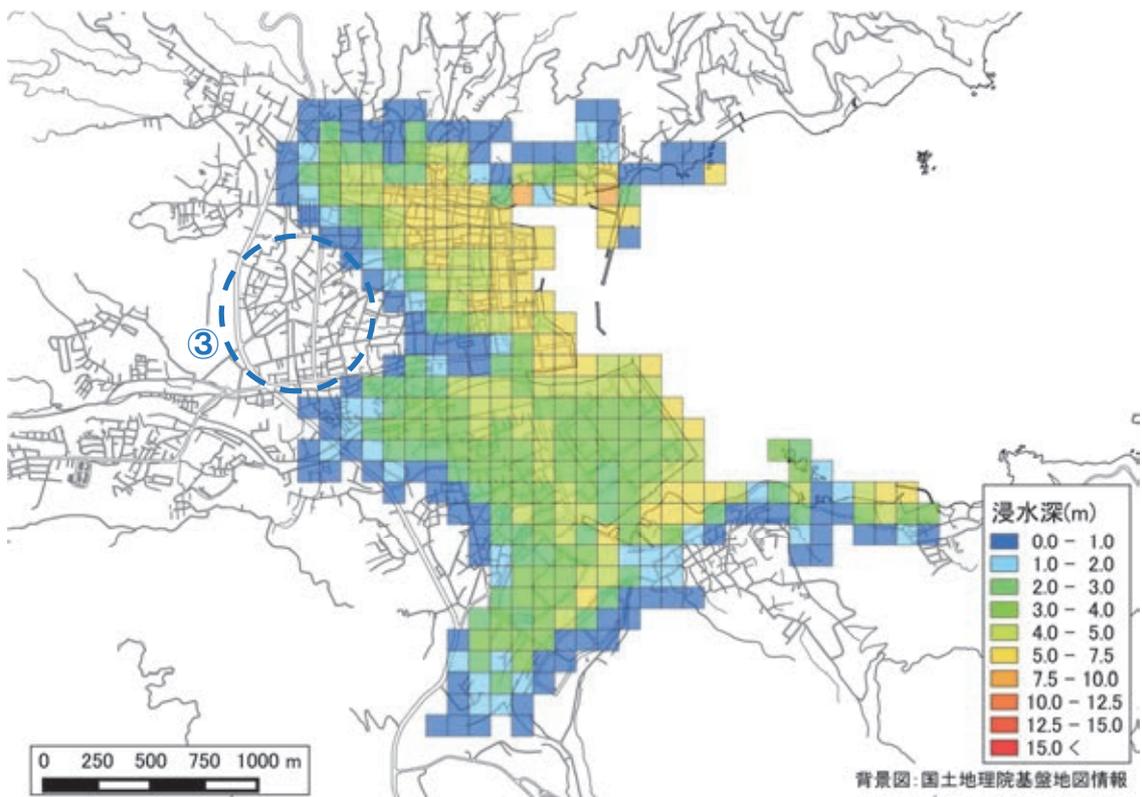


図 9 メッシュ単位の  $D_w$  (尾鷲地区、基本ケース 1) <sup>18)</sup>をもとに作成

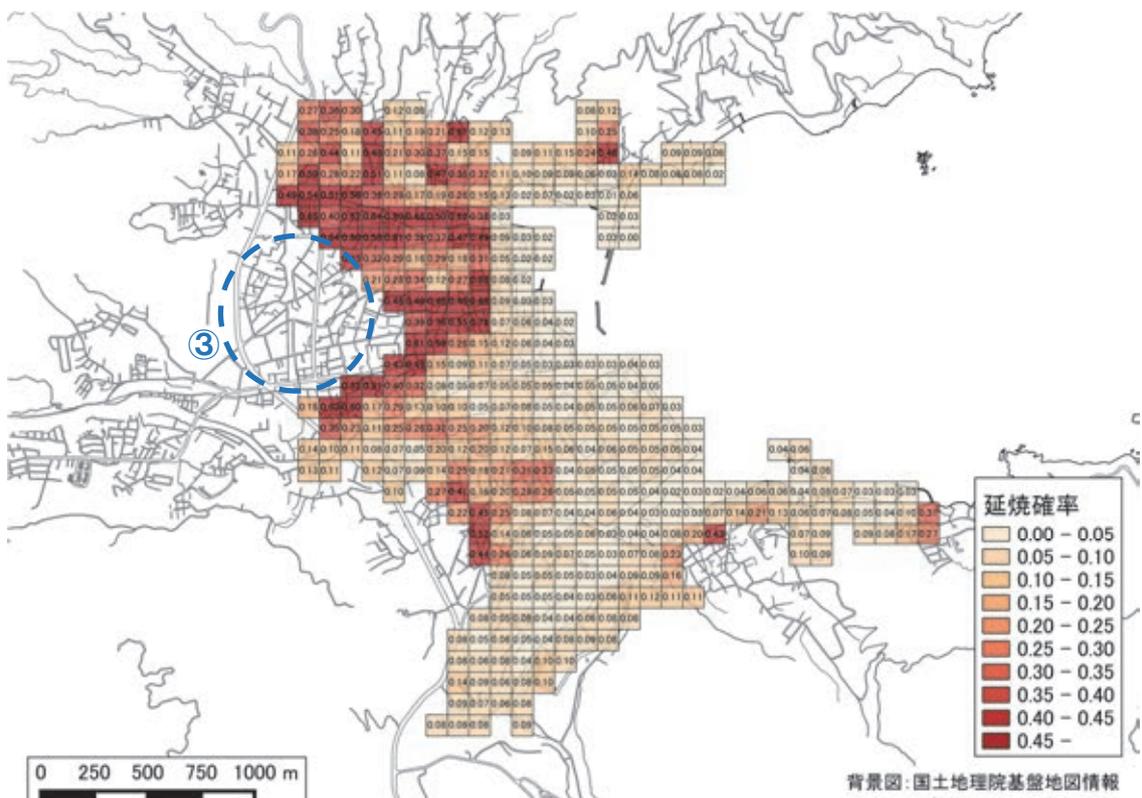


図 10 メッシュ単位の  $E[Bf]$  の評価結果 (尾鷲地区、基本ケース 1) <sup>18)</sup>をもとに作成

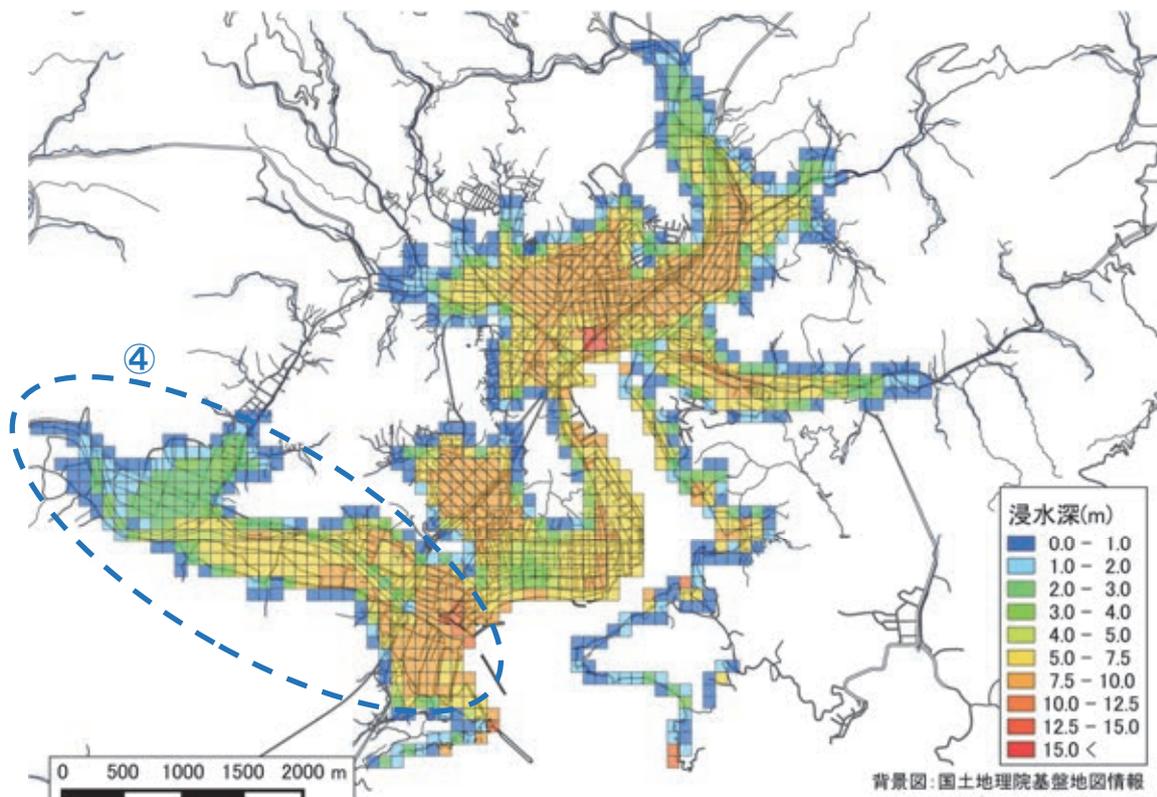


図 11 メッシュ単位の  $D_w$  (須崎地区、基本ケース 4) <sup>18)</sup>をもとに作成

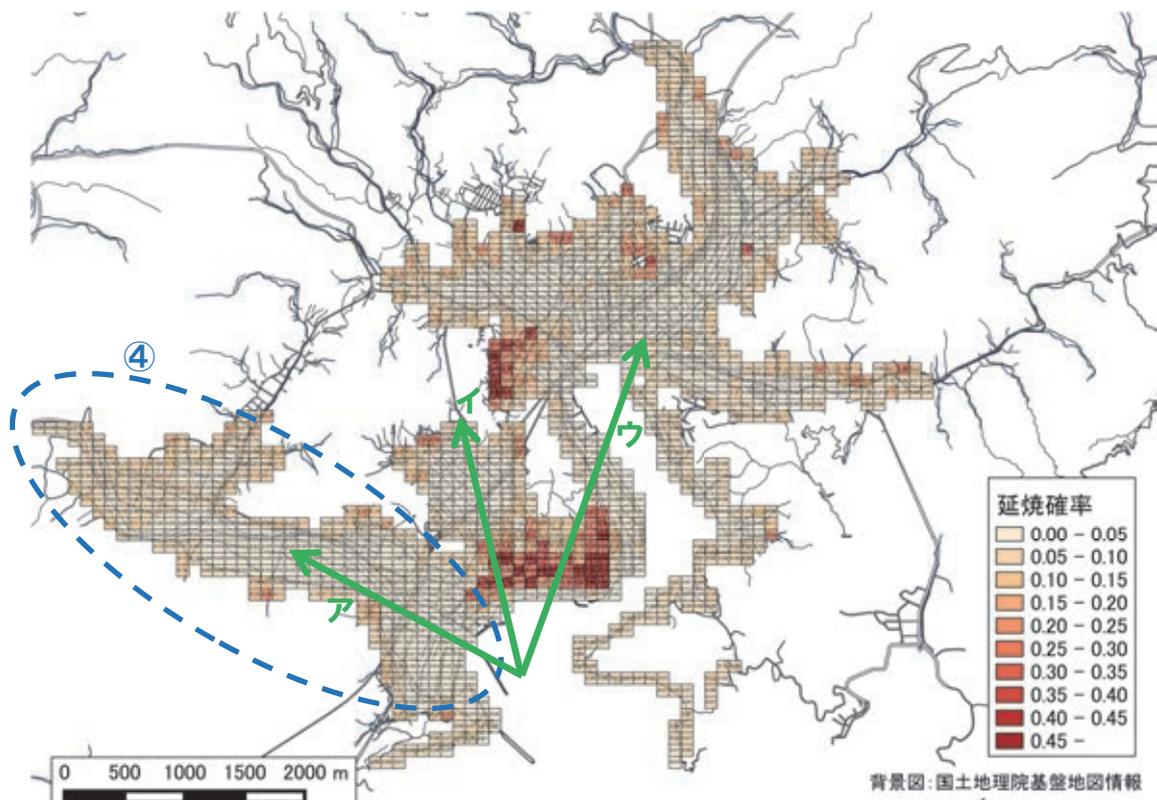


図 12 メッシュ単位の  $E[B_f]$  の評価結果 (須崎地区、基本ケース 4) <sup>18)</sup>をもとに作成

地震保険研究29

災害科学研究会 火災部会  
平成25・26年度報告書

東北地方太平洋沖地震の事例に基づく  
津波火災のリスクモデルの構築

平成27年（2015年）11月発行

発行 損害保険料率算出機構（損保料率機構）

〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1

TEL 03-6758-1300（代表）

URL <http://www.giroj.or.jp>

印刷 株式会社 三千和商工

〒105-0004 東京都港区新橋6-10-7

