

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

Questionnaire Survey about the Great East-Japan Earthquake and Estimation Method concern on Tsunami-Fire

廣井 悠¹

U HIROI¹

¹名古屋大学減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

The purpose of this study was to investigate the outline of earthquake fire in the Great East Japan Earthquake by questionnaire survey targeting fire defense headquarters. We asked all fire defense headquarters in 17 prefectures in eastern Japan about the outline of fires occurred during a month from March 11 to April 11, 2011. According to our research, 374 fires happened and the feature of the earthquake fires in the Great East Japan Earthquake is that many of the fires were caused by the tsunami. The number of the fires caused by the tsunami was 159. Finally, we analysed the relation between the number of ignition fire and damage of Tsunami disaster and proposed Tsunami-Fire estimation method.

Key Words : Post-Earthquake Fires, Great East-Japan Earthquake, Tsunami-Fires, Questionnaire Survey

1. はじめに

本稿は東日本大震災時に発生した地震火災の中でも特に被害の大きかった津波火災に焦点を絞り、消防本部を対象とした質問紙調査の結果を報告し、さらにはその成果を利用して津波火災の出火件数予測手法を提案するものである。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、M9.0というわが国の観測史上最大級のものであった。この地震は大きな揺れを東北地方を中心とした広範囲に発生させ、また各地で大津波による甚大な被害が記録されたが、このとき深刻な市街地火災もまた東日本の至る地域で多数発生していた。現在のところ、これら地震火災に関する調査・研究はいくつかの既存研究が発表されている。総務省消防庁はその被害報(2014)において、各消防本部から提出された被害をとりまとめ、330件の地震火災を報告している¹⁾。ただし総務省消防庁への聞き取りによると、その基準はあくまで「地震に基づく火災を報告」するのみ伝えられており、津波火災がこれに含まれるかどうかの判断なども含め、原則として消防本部判断で被災情報の収集を行っている。関澤(2013)らは2011年9月～11月に消防本部への質問紙調査を行い、53の消防本部からの回答を得てその傾向を分析している²⁾。秦ら(2014)も同様に2012年8月に消防本部へ火災情報の提供を依頼し59の消防本部からの回答を得た上で、特に地震動に起因する火災(上記の既存研究では従来型火災と呼称)の特徴を整理している³⁾。これらは東日本大震災時に発生した地震火災のおおよそを把握する貴重な既存研究と考えられる。他方で、本研究で特に対象とする津波火災については、1993年に発生した北海道南西沖地震における事例が知られている。参考文献⁴⁾によると北海道南西沖地震時は奥尻島で4件の火災が発生しており、うち2件が市街地延焼に至っているが、残りの2件は船舶を燃やしたという。前者は建物

190棟を焼失させ3名が死亡しており、プロパンガスボンベや灯油ホームタンクによる影響が疑われるものの、その出火原因は不明とされていた。また東日本大震災後は廣井ら(2012)が、2011年3月～4月に行った現地調査、2011年3月～2012年5月に行った消防本部や消防団への聞き取り調査、2011年8月に行った火災実験の成果を通じて、これまで出火原因や発生メカニズムが未解明であった津波火災について、延焼被害の大きかったケースを参考として、その出火要因・延焼要因・消防活動阻害要因・避難阻害要因を類推している⁵⁾。つまり津波火災に関するこれまでの研究は、おおむね大規模延焼に至った事例を参考にしたもので、発生メカニズムの解明も一部のものにとどまっており、延焼被害の小さい事例については詳しく知られていない。ところで本研究の目的である「東日本大震災時に発生した地震火災の全体像把握」や「津波火災被害予測手法の提案」を行うためには、発生件数そのものの情報や詳細な出火原因などの把握、つまり東日本大震災時に発生した地震火災の網羅的な抽出とそれに基づいたデータベースづくりが必須と考えられる。しかしながら、これまでの代表的な既存研究は以下に示す限界を有しており、被害予測に用いる基礎データとしては不十分と考えられる。

1. 総務省消防庁の被害報は、対象とする火災の取捨選択を自治体の個別判断に委ねたものであるため、実際にも消防本部によって提出した地震火災の範囲はまちまちである。また出火原因や延焼被害など火災の詳細を伴ったものではなく、細かい分析を行う基礎資料としては適さない。
2. 関澤ら(2013)の調査による調査対象消防本部の抽出は「2011年8月11日時点の総務省消防庁による「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(第136報)」において火災被害があったと報告されている

市町村管轄の消防本部 60 ヶ所」としたものであり、地震火災の定義が不明確であったことにより総務省に報告されていない地震火災が、調査対象から抜け落ちてしまっている。

3. 関澤ら(2013)の調査が行われた地震後 6~8 ヶ月の時期は総務省消防庁の被害報における火災件数が大きく変動している時期であり、消防本部が把握している被害も限定的であったと考えられる(例えば、前記 136 報における福島県の火災数は 11 件と計上されているが、2013 年 3 月時点で最新の同 146 報では 38 件と修正されている)。
4. 秦ら(2014)の研究は東日本大震災時に発生した地震動に起因する火災の特徴をよく捉えたものであるが、津波火災について十分な検討を行う目的のものではない。また調査対象消防本部の抽出も関澤ら(2013)とほぼ同様であり(総務省消防庁の被害報 145 報を使用)、上記と同様の限界が存在する。
5. 座間ら(1993)および廣井ら(2012)の調査は津波火災による延焼被害の大きかった地域のみを対象としている。特に後者は大規模な市街地火災が確認された箇所の現地調査に基づいており、小規模な火災の数などは対象としていない。

これに対し本研究で行った大規模な質問紙調査/聞き取り調査(2012 年 4 月末~5 月上旬実施)は、あえて調査対象である消防本部が十分に被害を把握できたと判断される震災後 1 年以上を経過した時点まで待ち、その後調査票の配布に取り掛かっている点や、対象とする火災についても各消防本部独自の「地震に関連する火災」という判断基準によらず、地震後 1 か月の火災を(平常時の

火災や放火なども含めて)すべて尋ねたのち、整理を試みている点の特徴である。特にこれまで事例の乏しかった津波火災は、その定義や地震火災に含むかどうかの判断基準が消防本部によって大きく異なる。このように本研究は、統一的な基準のもとで地震火災・津波火災の概要を把握するという目的から、その点を配慮した網羅的な調査手法を採用している。本稿はこれより 1.東日本大震災時に発生した地震火災の(特に既存研究に乏しい津波火災に焦点を絞り)全体像や詳細を知るデータベースを構築する、2.津波火災の出火件数予測手法を提案するという 2 つの研究目的を達成しようとするものである⁽¹⁾。

2. 調査の概要と地震火災全体の基礎情報

筆者(火災学会地震火災専門委員会。筆者は幹事として調査票の作成、配布、集計全てに従事)らが行った「東日本大震災時に発生した地震火災についての大規模な質問紙調査/聞き取り調査」の概要を説明する。ここでは北海道を除く東日本 1 都 16 県の全消防本部(図 1)に対して、2011 年 3 月 11 日から 2011 年 4 月 11 日までに発生した 1 か月間の火災概要を尋ねており、回収率は 2014 年 1 月時点で 258 本部(86.9%)である。2014 年 1 月時点において各消防本部から得られた回答を集計した結果、調査対象となる火災(調査対象の消防本部で 2011 年 3 月 11 日から 1 か月間に発生した全火災)は 2,703 件であった。このもとで筆者らは、表 1 のコード表を作成し、すべての火災を整理している。その結果、震災後 1 か月に発生した全火災 2,703 件のうち、明らかに地震や津波関連でない判断される火災は 1,560 件、津波浸水域で発生した火災は 168 件、本震・余震に関係すると判断さ

表 1 本調査で用いたコード表

要因分類コード	説明	要因分類詳細コード	詳細説明	津波火災	揺れによる火災	間接的に生じた火災	地震火災	件数
0	無関係	—	地震・津波とは無関係と判断できるもの					1560
1	津波浸水範囲内で発生した火災	100	101~110以外のよくわからないもの	○			○	2
		101	3月11日の火災(地震動によるもの以外)	○			○	89
		102	3月12日以降の電気関係による火災	○			○	15
		103	3月12日以降の車両火災もしくは車両が出火原因の火災	○			○	23
		105	震災と全く関連のない普段の火災					6
		106	3月12日以降の車両火災・電気関係以外の津波関連火災	○			○	22
		107	間接や復旧作業中の火災			○	○	2
		108	津波浸水地域内の通電火災	○			○	3
		109	津波浸水地域内のロウソク火災			○	○	2
		110	津波浸水範囲の地震動による火災			○		○
2	地震に直接関連した火災	200	地震関連でよくわからないもの			○	○	1
		201	本震による3月11日の火災(203, 204に該当するものは除く)		○		○	99
		202	本震以外の地震による火災		○		○	17
		203	通電火災(3月11日含む)			○	○	22
		204	地震による破損+人為的要素(3月11日含む)			○	○	12
		206	本震による3月12日以降の火災(203, 204に該当するものは除く)		○		○	7
3	地震に伴う停電等で間接的に生じた火災	300	地震動による破損・移動・転倒等と直接関係のない火災(301, 302に該当するものは除く)			○	○	20
		301	津波により浸水した車両+人為的に移動	○			○	5
		302	地震が無ければ使わなかったロウソク+何らかの理由による転倒等			○	○	29
4	放火・不審火	—	放火(疑い含む)・不審火・火遊びなど					410
5	関連不明	—	出火原因はわかっているものの、地震・余震や津波の影響の有無が明示的に回答されていないケース					27
6	原因不明	—	出火原因が不明のケース、通常の火災の場合を含む					207
7	無回答	—	基本情報が開示されていないケース。不開示・無回答					119
総計				159	127	88	374	2703

れる火災が 158 件、地震に伴う停電など間接的に生じた火災が 54 件、放火や不審火が 410 件、地震・津波との関連が不明な火災が 27 件、出火原因が不明の火災が 207 件、情報不開示の火災が 119 件であった。このもとで、表 1 の如くそれぞれの要因分類詳細コードごとに地震火災を定義し、これをさらに 1.津波火災、2.揺れによる火災、3.間接的に生じた火災に分類した⁽²⁾。この作業により、東日本大震災における地震火災は 374 件発生していることが判明した。またその内訳は、津波火災が 159 件、揺れによる火災が 127 件、間接的に生じた火災が 88 件となった⁽³⁾。これらの地域分布は図 2 で示される。以降では、この中でも特に津波火災についてその概要と特徴を紹介する。なお、兵庫県南部地震で多かったと言われる通電火災は、津波浸水地域内で発生した通電火災 3 件を含めると 25 件と全体の 6.7%を占める。

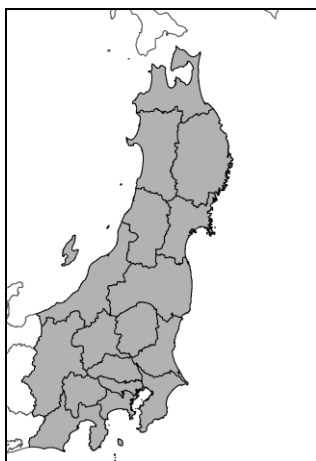


図 1 調査対象の消防本部

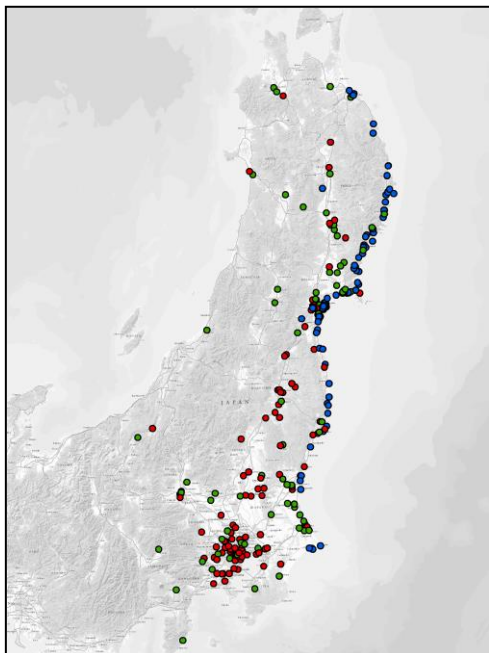


図 2 津波火災(青, N=159), 揺れによる火災(赤, N=127)と間接的に生じた火災(緑, N=88)の地域分布

3. 津波火災の出火に関する調査結果

上記の質問紙調査によると、調査対象となった火災のうち、津波浸水区域内の火災(表 1 の要因分類コード 1

に該当)は 168 件となった。しかしながらその詳細についてつぶさにみていくと、津波来襲前に発生した火災や本震発生後時間が経過したのちに津波浸水地域内で発生した放火など、明らかに津波が火災の原因となっていないものなどがここには含まれていた。そこで、これら(放火(疑い含む)、ライター、たばこ、ローソク、天井落下に伴う出火、ストーブの誤使用、火花、高温物接触、ゴミ焼き、電気配線の老朽化、粉じん爆発、津波襲来前の出火)など、津波に直接関係のないと考えられる火災⁽⁴⁾を浸水区域内で発生した火災 168 件から除いた。また、浸水地域外での火災であっても、津波が直接的な火災の原因と考えられるものがみられた。これはすべて車両火災であり⁽⁵⁾、津波をかぶった車両が走行中や搬送中に出火した事例である(表 1 の要因分類詳細コード 301 に該当)。これらを取捨選択した結果、最終的に津波が原因で出火したものと思われる火災は 159 件となった。以下、本稿ではこの 159 件を津波火災と便宜的に呼び、分析対象とする(ここでは津波浸水後に復電がなされ火災が発生したとの確証が得られた「津波浸水地域内における通電火災」も間接的に津波が原因と考え、考慮している)。

津波火災の発生都県を示したものが表 2 である。ここでは参考のため地震火災全体と揺れによる火災、間接的に発生した火災も併記するが、津波火災は宮城県で 99 件を数え、その他は青森県 5 件、岩手県 29 件、福島県 12 件、茨城県 9 件、千葉県 5 件となった。揺れによる火災は東京都で 29 件と突出しており、宮城県、福島県、茨城県がそれに続くという傾向や、間接的な火災は宮城県が多いものの各地域で満遍なく発生している点など、示唆に富む結果である。いずれにせよ、津波による被害が大きくまた都市化が進んでいる宮城県での地震火災件数が飛びぬけて多い点は特筆に値する。

表 2 地震火災の発生都県(件)

	地震火災	津波	揺れ	間接
茨城県	37	9	15	13
岩手県	45	29	6	10
宮城県	145	99	18	28
群馬県	7	0	3	4
埼玉県	12	0	10	2
山形県	2	0	0	2
山梨県	1	0	0	1
秋田県	3	0	1	2
新潟県	2	0	1	1
神奈川県	10	0	8	2
青森県	11	5	1	5
静岡県	2	0	0	2
千葉県	20	5	12	3
長野県	1	0	0	1
東京都	35	0	29	6
栃木県	7	0	4	3
福島県	34	12	19	3
合計	374	159	127	88

図 3 は津波火災と揺れによる火災、間接的な火災の出火月日を累積で示したものである(ただし出火日時が不明の 19 件の火災を除く)。全体的な傾向として、揺れによる火災はほとんどが 3 月 11 日に発生したものであり、一部余震によるものが散見される(4 月 7 日の余震では 5 件の揺れによる火災が確認)。また間接的な要因による火災は 3 月 11 日よりむしろ 3 月 12 日に多く(3 月 11 日に 18 件、3 月 12 日 22 件)、本震後も断続的に増加す

る傾向がある。津波火災はこれに比べ、3月11日中に89件が発生しているものの、その後も断続的に火災件数は増加している。結果として、半分程度が翌日以降に出火したものであった。なお3月14日までに出火した火災は116件、3月21日までに発生した火災は127件となっており、4月中に出火した火災が9件ある。

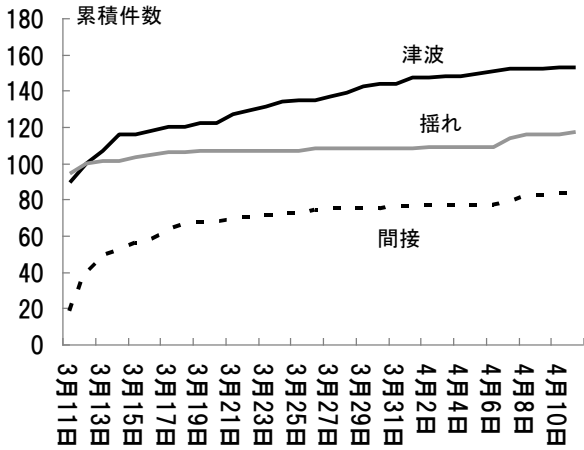


図3 発生日別の累積地震火災発生件数(黒線：津波火災，灰線：揺れによる火災，破線：間接的な火災)

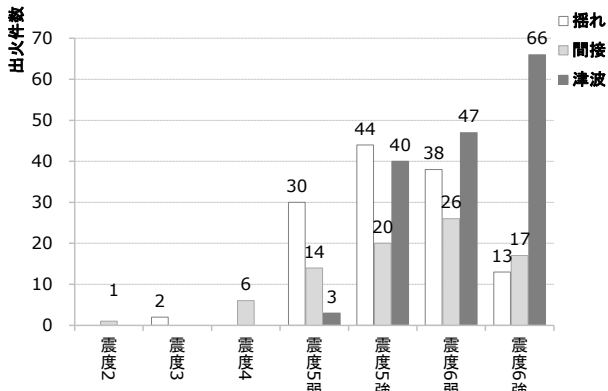


図4 津波火災，揺れによる火災，間接的な火災の発生件数と気象庁震度階級の関係図(N=367)

図4は津波火災と揺れによる火災，間接的な火災の発生地点における気象庁震度階級を示したものである。震度の大きい地域では津波火災と揺れによる火災が多く発生しているものの，間接的な火災についてはその限りではない。これらの出火要因を詳しく述べたい。図5～図8は地震火災，揺れによる火災，間接的な火災，津波火災の出火原因をそれぞれ示したものである。図5をみると地震火災全体としては374件中，原因不明が106件(全体の28.4%)を占めるほか，津波によるものは159件(全体の42.5%)と非常に多いことがわかる。また電気器具，電気配線・コンセント，配電設備など電気によるものは111件(全体の29.7%，不明を除くと全体の41.4%，不明も津波によるものも除くと全体の52.3%)と判明した。兵庫県南部地震では285件の地震火災のうち，電気による火災(電気による発熱体)は85件であり，全体の29.8%(不明を除くと全体の61.2%)である⁹⁾。兵庫県南部地震ほどではないが，いまだ電気による地震火災は非常に数多く発生している。

図6をみると，揺れによる火災の出火原因として兵庫

県南部地震で24件発生している⁶⁾ガス器具や油によるものは少なくなっている(ガス器具5件，石油暖房器具2件)。これは地震発生時刻や揺れの特性，建物被害の有無もさることながら，マイコンメータの普及など，都市ガスの地震時緊急遮断システムが効果を発揮したものと考えることができる。他方で，揺れによる火災の多くが電気器具，電気配線・コンセント，配電設備など電気による火災であり，その割合は合計63.8%を数える。他には工場設備などで火災が発生している(8.7%)ほか，簡易コンロや石油暖房器具の出火は少ない。これは地震の発生が3月中旬であったことや転倒防止対策が普及したことによるものと類推される。

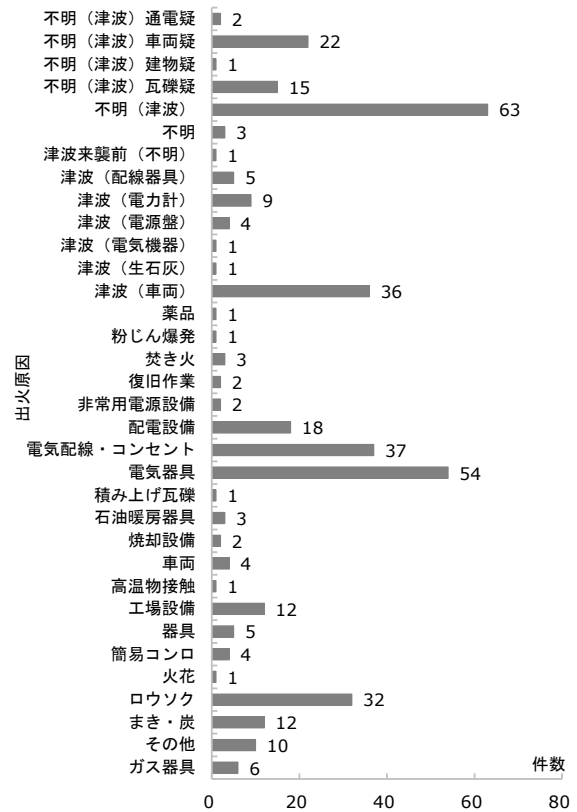


図5 地震火災の出火原因(N=374)

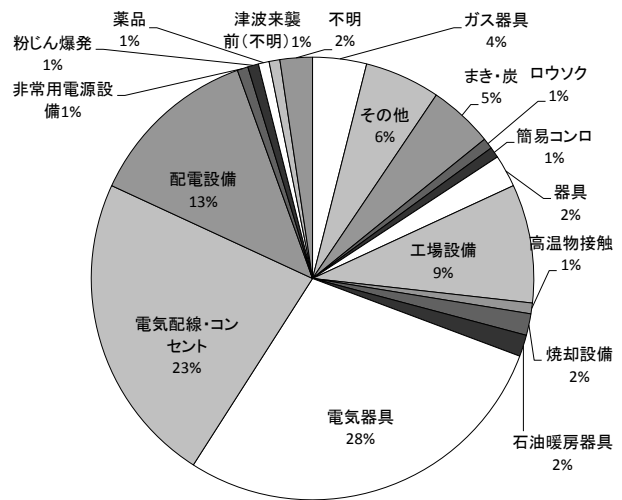


図6 揺れによる火災の出火原因(N=127)

図7をみると、間接的な火災の出火原因は電気によるものも多いが、多くがロウソクによるものであり、その件数は35.2%(31件)にも及ぶことが分かる。これらは大規模停電の際に明かりとりとして用いたロウソクが余震で倒れ、火災が発生したものが多く、つまり、大規模な停電と断続的な余震が同時発生するような地震では、ロウソクによる本震後の火災対策を考える必要がある。

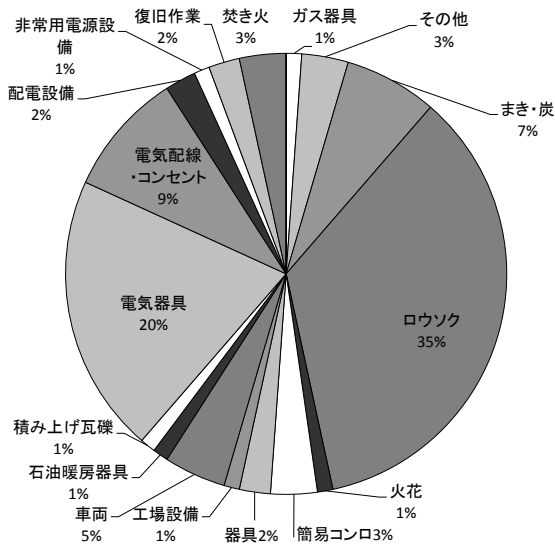


図7 間接的な火災の出火原因 (N=88)

他方で津波火災の出火原因は、不明が非常に多い点の特徴である(図8)。質問紙調査で出火原因が「不明」と記入があった消防本部については聞き取り調査を行い、疑いも含めてできるだけ原因の究明に努めたが、およそ39.6%が類推の及ばない原因不明であった。ここでは、不明の中でも出火状況や目撃証言などから限りなく特定の出火原因が疑われる火災については、上記の消防本部への聞き取りによって、瓦礫疑い、車両疑いなどの推察を行っている。建物の電気系統や流出した瓦礫によるものも多少存在するが、やはり津波火災の出火原因は疑いも含めて車両によるものが多い。また津波浸水地域内では、通電火災が疑われる火災も発生している。

ところで、津波火災の出火原因を発生日時ごとに整理すると、ひとつの特徴に気付く。図9および図10は図8に示した津波火災の出火原因を、発生日時不明の6件を除いたうえで、発災後3日間の火災と4日目以降の火災に分類したものである。これをみると、不明を除いて発災後3日間は比較的瓦礫による出火(疑い含む)や車両疑いが多く、電気・配線系の出火がやや少ない傾向にある(3.8%)。一方、4日目以降は比較的電気・配線系の出火が多い(32.6%)。この傾向は、得られた出火原因を比較すると一目瞭然である。3月11日に出火した火災は、「津波による倒壊家屋等のがれきから出火し、延焼したもの」、「津波による浸水域内の住宅と周辺に流れ着いた車両が燃えたもの」、「津波により車両が水没し、電気配線から出火したもの」などの出火要因が多く、「津波により大型トラックが横転、数時間後出火し全焼した。バッテリーのショートによる」などの事例も含めると、瓦礫や車が津波によって押し流され、堆積して延焼したもの、もしくは車が水没してその後電気配線などから出火したものとみることが出来る。他方で、4月中に出火した火災の出火要因は「津波により冠水した電力量計内

の配線に塩分が付着し、絶縁低下または、腐食により発熱し出火」、「津波により漂着した車両の配線類から出火し、住宅へ延焼」など電気配線からの出火が特に多くなっている。この傾向は、津波襲来後時間が経過すればするほど顕著となる。

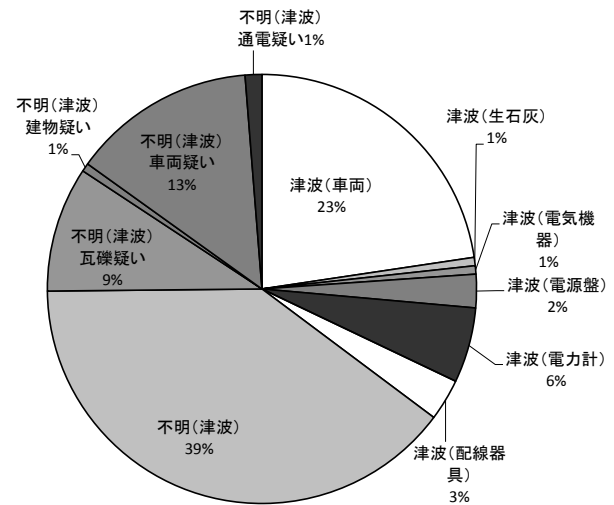


図8 津波火災の出火原因 (N=159) (6)

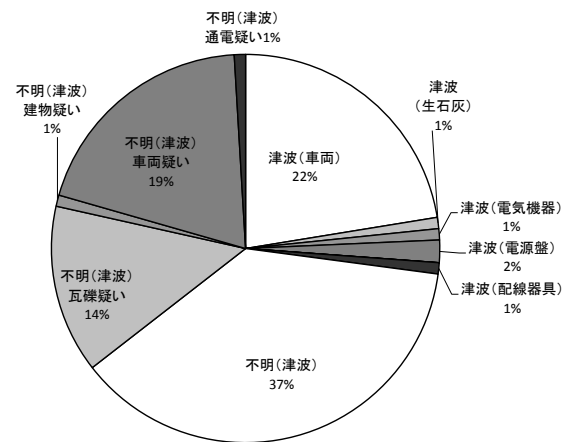


図9 津波火災の出火原因(発災後3日間, N=107)

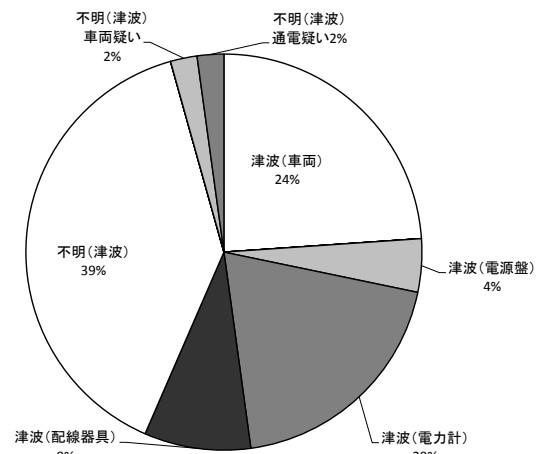


図10 津波火災の出火原因(4日目以降, N=46)

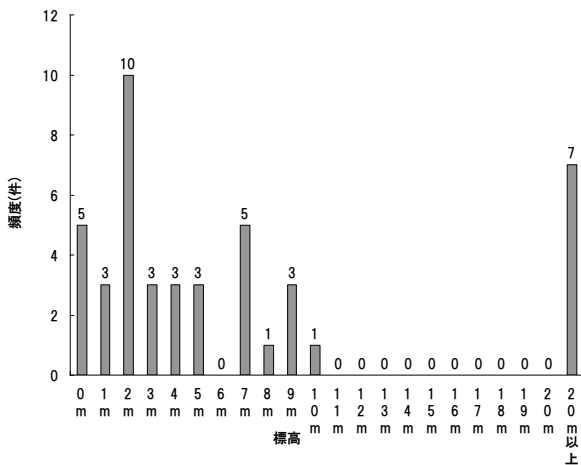
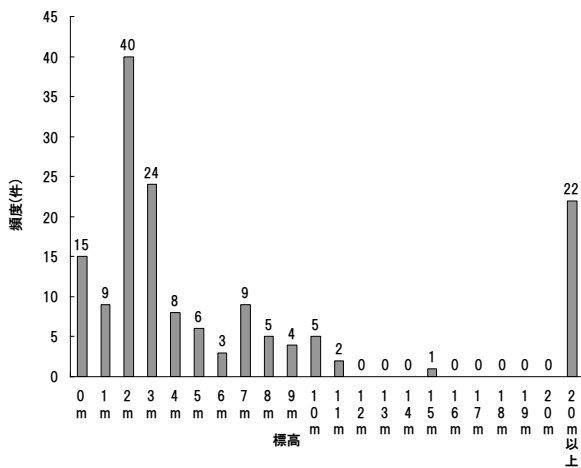


図 11 津波火災の出火点の標高(上, N=153)と、そのなかでも 1 棟以上の延焼に至った津波火災の出火点の標高(下, N=44)

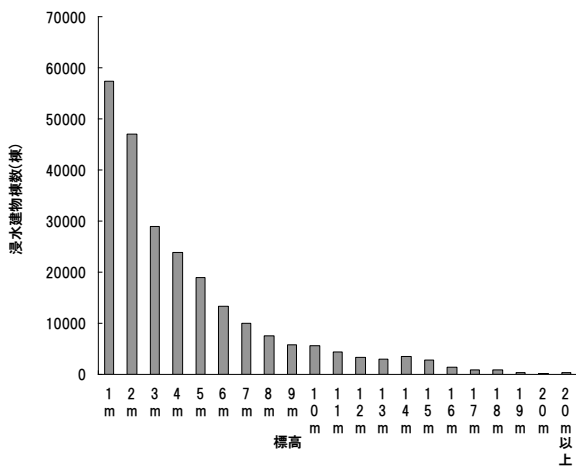


図 12 東日本大震災時の標高別浸水建物棟数 (N=239685)

図 11 は津波火災の出火点における標高の頻度分布である(正確な出火点情報が得られない場合はデータから除いている)。これより、津波火災は標高 0m, 1m の場所でも起きているが、被災範囲の標高の偏りを勘案すれば、標高の高い場所にも比較的多く発生していることが推察される。このうち 1 棟以上の延焼に至った津波火災が図 11 の下図であるが、その傾向はより顕著になる。廣井ら(2012)は、大規模延焼に至った津波火災の主な発

生場所として燃えた瓦礫が集積し易い高台の際の部分の部分を挙げているが、図 12 に示す東日本大震災時の標高別浸水建物数⁷⁾と比較しても、標高の高い場所は低い場所よりも津波火災の出火が多い傾向にあると相対的に判断できる。これは上記の現地調査で得られた傾向を端的に示すものと考えられよう⁵⁾。

4. 津波火災の延焼に関する調査結果

続いて津波火災の延焼に関する調査結果を示す。図 8 にも示した通り、従来の地震火災と異なり、今回の津波火災は建築物のみならず車両からの出火報告が多くみられる点の特徴的である。そこで津波火災全 159 件を「何が燃えたか」を示す「火災種別」に整理したものが図 13 である。この結果、建物火災は 59 件、車両火災は 36 件、林野火災は 4 件、船舶が 1 件、その他(田畑、瓦礫一帯など)が 47 件、不明 6 件となった⁷⁾。

図 14 は地域ごとに津波火災の火災種別を分類したものである。岩手県と宮城県に林野火災が、宮城県に船舶火災が確認できるほか、岩手県は非常に車両火災が少ない傾向が見られる(6.9%)。数こそ多いものの、茨城県、福島県、青森県、千葉県に比べると宮城県も車両火災の割合が高いわけではない(17.2%)。これは岩手県、宮城県とその他の県に襲来した津波の勢いが違うことに起因すると考えられる。上記 2 県を襲った津波は非常に強い勢いのものであった。そのため、押し流される瓦礫の量は極めて多く、この瓦礫が山際等に堆積して火災の発生に至ったケースが比較的多いと思われる。また、車両火災が少ないということは、車両からの出火が少ないか、車両からの出火が建物などに延焼することで、火災種別が建物火災またはその他火災と判断されたかのいずれかと考えられる。ここで、岩手県の津波火災のうち、車両が出火原因の火災は疑いも含めると 27.6%であった。宮城県における津波火災のうち車両が原因の火災は 33.3%であることから、岩手県は宮城県と比べてそれほど車両による出火の割合が少ないとも言えない。これにより、岩手県で車両火災が少ない理由は車両からの出火が建物などに延焼したケースが多いものと考えられる。

他方で、車両による津波火災の発生はその多くが電気系統からの出火などであり、津波が到達させたまえば、その勢いの強弱はそれほど出火確率に大きな影響を与えるものではない。事実、車両による津波火災は青森県 3 件、岩手県 2 件、宮城県 17 件、福島県 4 件、茨城県 8 件、千葉県 2 件と、津波の勢いよりむしろ自動車の密度や都市化の程度に影響を受けているようにも感じられる。いずれにせよ、車両に関する津波火災は津波浸水エリア全体で発生可能性が高く、特に宮城県ではその火災が建物などに延焼していったパターンが多い(宮城県 20 件、青森県 1 件、岩手県 1 件。火災種別は建物火災となる)。なお前述したように、車両による津波火災の中には、津波被災車両が何らかの原因で移動されたことにより発生したものが 5 件あり、今後はこれらの対策も必要となる。またここでは火災による被害を火災種別ごとに尋ねているが、そのうち焼損棟数は建物火災 798 棟、車両火災 1 棟、その他 138 棟、焼損床面積が建物火災 10.5ha、その他火災が 6.0ha、山林・枯草等焼損面積は建物火災が 192.9ha、林野火災が 136.3ha、焼損車両数が建物火災 58 台、車両火災 1069 台、船舶火災 7 台、その他火災 136 台であった。

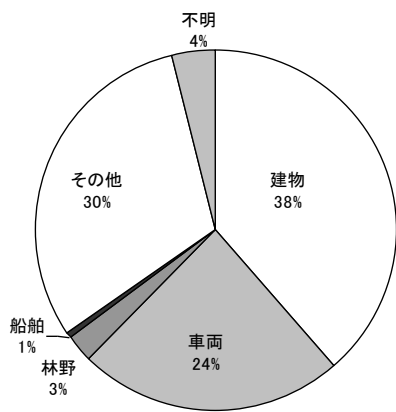


図 13 津波火災の火災種別 (N=159)

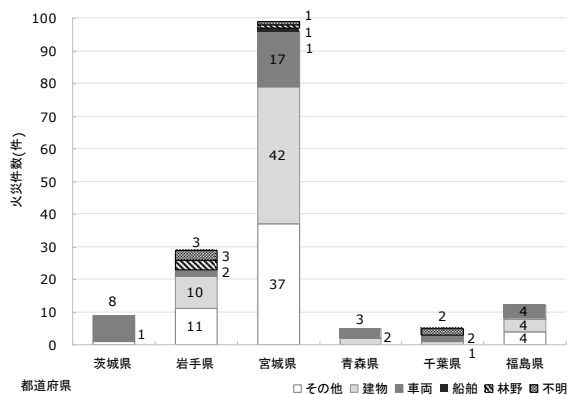


図 14 県別の火災種別 (N=159)

続いて、建物火災 59 件の中で火元の建築物の構造に関する回答があった 34 件の内訳を調べた結果、非木造が 22 件、防火造が 1 件、木造が 10 件、不明 1 件であった(図 15)。つまりここからは、木造建築物に比べて非木造建築物がより津波火災の火元となっているという事実が明らかとなる。もちろん、津波火災が発生する地域は多くが津波浸水地域であるから、木造建築物は流出しているものも多いものと考えられる。したがって、母集団の問題から非木造建築物が木造建築物よりも津波火災リスクが高いといえるわけではないが、少なくとも非木造建築物であっても津波火災のリスクは少なからず存在する、という解釈は妥当であろう。なお、ここでの木造建築物はほとんどが住宅用途であったが、他方で非木造建築物は共同住宅や工場、イベントホールなどが主な用途であった。

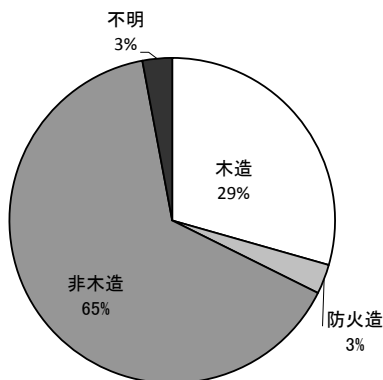


図 15 津波火災の火元建築物の構造 (N=34)

また同様に、建物火災 59 件の中から火元の建築物の地上階数が判明している 31 件の内訳を、揺れによる火災や間接的に生じた火災の出火建物階数とともに示す(図 16)。これを見ると、1 階の建築物からの出火が 14 件、2 階の建築物からの出火が 14 件となっているが、中には 3 階、10 階のような高層建築物からも出火していることがわかる。上記より揺れによる火災や間接的に生じた火災ほどではないものの、

1. 木造建築物のみならず、津波の勢いに耐える可能性の高い非木造建築物であっても、津波火災の火元建物となってしまう
2. 3 階以上の建築物も津波火災の火元となっているという 2 点が明らかになった。現在、津波避難ビルの指定基準として、鉄筋または鉄骨鉄筋コンクリート造であること、新耐震基準に適合していること、4 階以上または屋上を有する 3 階建の建築物であること、外部から避難できる経路があること、ホームページの公表や看板の設置が可能であること、等々が定められている。しかし、重油タンクの近くやプロパンガスボンベや自動車などが多量に存在するなど、津波火災リスクの高いと思われる地域では、津波避難ビル自体においても何らかの津波火災対策が今後求められるであろう。いずれにせよ、津波避難ビルは「高台や避難対象区域外まで移動する時間がない場合に緊急の一時避難するための建物に過ぎない」という認識が必要と考えられる。

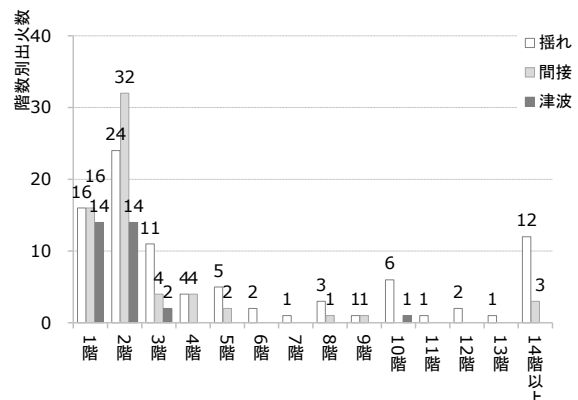


図 16 津波火災の火元建築物の地上階数 (N=31, 参考として揺れ N=89, 間接 N=63 についても記載)

次に、津波火災の延焼概要について述べる。ここでは従来の津波火災における延焼の特徴を相対比較する目的で、質問紙調査で焼失棟数が得られている火災を表 1 の基準に従い、以下のように抽出した⁽⁸⁾。

1. 津波火災：48 件
2. 揺れによる火災：60 件
3. 間接的に生じた火災：54 件

このもとの、それぞれの焼失棟数の頻度分布を示す(図 17)。この結果、各火災あたりの焼失棟数平均値は、1. 津波火災が 25.9 棟/件、2. 揺れによる火災が 1.4 棟/件、3. 間接的に生じた火災が 1.7 棟/件であることがわかった。おおむね火災 1 件あたりの焼失棟数、即ち被害量は津波火災が従来考えられてきた地震火災よりも圧倒的に大きいことになる。この点は、津波浸水区域内において覚知が遅いことや対応可能な消防力が少なかったこと、瓦礫や浸水で到着できない等、消火活動が困難であったことも理由の一つとなろう。

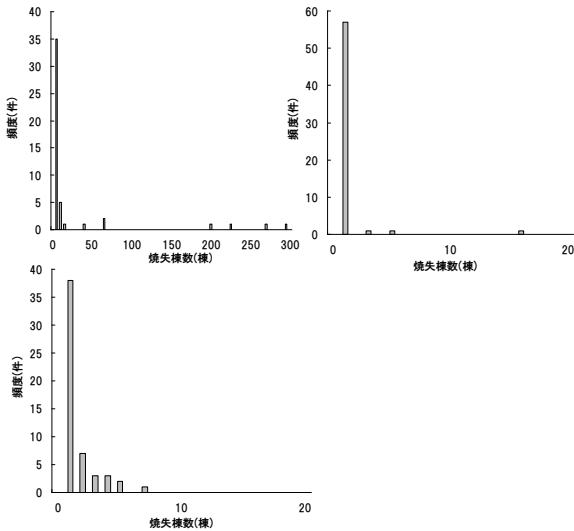


図 17 焼失棟数（津波火災：左上(N=48)，揺れによる火災：右上(N=60)，間接的に生じた火災：左下(N=54)）

本報では、東日本大震災時の津波によって発生したと考えられる火災について、消防本部への質問紙調査をもとに論じたものである。結果として、津波による影響で発生したと考えられる火災の総焼損棟数は 937 棟、建物の総焼損床面積は 16.57ha、山林・枯草等焼損面積の合計は 329.2ha、焼損車両の合計は 1270 台であった。廣井ら(2012)の調査により津波火災による市街地の延焼面積は約 74.7ha であったことが知られているが⁴⁾、網羅的な調査によって、その面積を超えて山林なども広く燃えていることがわかった。また津波火災 1 件当たりの被害量(焼損棟数)は、揺れによる火災や間接的に生じた火災、つまり従来の地震火災 1 件当たりの被害量に比べ極めて大きいことも判明した。本調査はまだ回答のない消防本部も少数ながら存在し(ただし大規模な地震・津波被害が発生した消防本部に対しては、調査票の回収で返答がなくても後日聞き取りに向かうことでほぼ回答を得られている)、今後修正の余地は十分にあるが、これまでに行われた既往の研究と照らし合わせることにより、東日本大震災時に発生した津波火災の全体的傾向はおおむね捉える事ができるものと考えられる。今後は各々の火災事例について、その実態を詳しく記録に残すことが必要となる。

5. 津波火災の類型化

以上の調査で東日本大震災時に発生した地震火災の全体的な傾向は把握することができた。ここまでの知見から、津波火災はその発生箇所の地域特性、出火原因などによってその傾向が大きく異なるものと考えられる。そこで本節では津波火災の類型化を行い、質問紙調査で得られた各津波火災の様々な特性によって、どのようなパターンの津波火災が発生しうるかを把握したい。類型化に用いる属性は、車両火災かどうか(車両火災なら 1、そうでないなら 0)、直後に発生したかどうか(3月11日に発生した者なら 1、それ以降に発生したものは 0)、標高(標高 4m 以上なら 1、それよりも低い場合は 0)、火災原因が電気によるものかどうか(電気によるものなら 1、そうでないなら 0)の 4 変数である。今回は非階層的クラスター分析(k-means 法)を用い、変数の数を勘案して

クラスターの数を 3 とした。その結果が図 18 である(ただし出火日付不明のデータは分析から除いている)。結果として、以下のように津波火災の類型化がなされた。

- ① 標高のやや高いところで発生した津波火災パターン(比較的車両火災が多く、必ずしも 3月11日に発生しているわけではない、N=51)。
- ② 標高の低いところで 3月11日に発生した津波火災パターン(電気が原因であることは少なく、またおおむね車両火災でもない、N=51)。
- ③ 標高の低いところで 3月12日以降に発生した津波火災パターン(電気が原因のものが多い、N=59)。

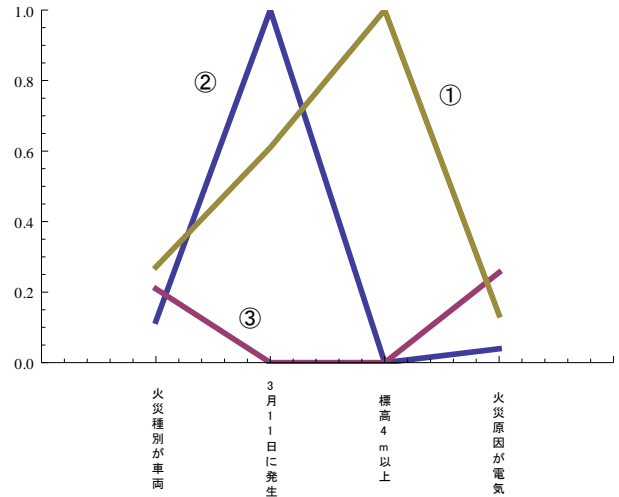


図 18 クラスター分析によって得られた津波火災の類型化(N=153)

ここでは重油流出などの変数を考慮に入れていないため重油の影響は明示的に類型化されないが、この成果に質問紙調査や聞き取り調査、または既存研究⁴⁾などで記述された結論も含めて整理すると、主な津波火災の発生パターンは以下の 4 種類に縮約される。

1. 高台瓦礫集積型(主として三陸沿岸などの特徴)

津波によって倒壊家屋・プロパンガスボンベ・自動車等、多くの可燃物や危険物が山・高台のふもと等に沿って打ち寄せられる。その後、一緒に漂流してきた火源(家屋・各種燃料)から着火炎上し、大規模延焼に至る。市街地火災から山林火災に拡大する可能性もある(図 18 ①パターンの一部)。

2. 都市近郊平野部型(主として仙台平野などの特徴)

津波によって多くの可燃物や危険物、火源が漂流する点は高台瓦礫集積型と同じであるが、都市部における津波火災であるため、プロパンガスボンベや車など危険物、火源の量が膨大となる。その結果、これら生活エネルギーが出火に大きく寄与し、出火点の数が多いのが特徴である。比較的緩やかな津波であっても出火し、比較的堅牢な建物周辺に集積した漂流物に延焼拡大するため、津波避難ビルなどの生存空間を脅かすものの、避難者は二次避難が不可能となる(図 18②パターン)。

3. 危険物流出型(主として気仙沼の特徴)

危険物が流出するなどして海上での大規模火災が継続する。船や瓦礫が回遊することで湾の周囲に延焼することもある。

4. 電気系統単発出火型(主として 2 日目以降の特徴)

車や家屋の電気系統が津波の浸水の影響により、時間経過後に出火する。延焼面積はそれほど大きくない傾向にある(図 18①パターンの一部と図 18③パターン)。

このように津波火災は地域特性や出火原因ごとに様々な特徴を有する。それゆえ、津波火災対策(およびその優先順位)もまた、様々と考えられる。以下では、筆者が行った質問紙調査、聞き取り調査などから類推される津波火災対策を整理する。なお、これより津波火災の発生メカニズムと対策は図 19 のように整理される。

1.高台瓦礫集積型(主として三陸沿岸などの特徴)

高台の際での津波火災発生が危惧されるパターンである。これについては、津波避難に対する消防戦術と 2 次避難計画が有効と考えられる。前者は津波火災の発生が予想される近辺の高台に防火水槽や資機材を優先的に配備する、消防車両の退避を検討する、山林火災対策を充実するなど主となる。他方で避難については、避難場所になると考えられる高台への津波火災の延焼だけは何としてでも食い止める必要があるが、万一延焼を許した場合を考え、避難場所、避難所の冗長性を高める、2 次避難のための訓練を行うなどの対策は考慮に値する。

2.都市近郊平野部型(主として仙台平野などの特徴)

出火数が非常に多く、また津波避難ビルへの延焼が予想される地域である。したがって、より出火対策が重要となる地域であるとともに、津波避難ビルへの延焼を許すことで逃げ場のない生存空間を失ってしまうというリスクが存在する。よって、地域の避難方針を(津波火災リスクの高い地域においては)ルールとして確立することが最も有効と考えられる。それに加え、津波避難ビルの津波火災対策も重要と考えられる。津波避難ビルの津波避難対策としては、1. 外部からの可燃物・火源の接近を避ける(床/地盤のかさ上げ・段差の有無、津波襲来方向の低層階開口部の制限、柵や塀・樹木などによる緩衝帯の設置、避難場所における駐車場の再検討)、2. 建築物内の延焼拡大(RC 建築物などの高い耐火性能をもった建物の必要性、防火区画・堅穴区画の地震時機能の徹底、部材の耐火被覆や壁の延焼防止性能向上、窓など開口部を介した上階延焼の防止)、3. 2 次避難対策(背後に避難経路を確保、他棟への上層階からの緊急時避難、周囲の延焼を考慮した屋内避難空間の確保)などが挙げられる。

3.危険物流出型(主として気仙沼の特徴)

危険物(重油など)の流出防止対策が最も重要と考えられる。また、これら危険物が流出することで、自然水利を利用できない可能性もあり、気仙沼市において鹿折小学校のプールの水が利用できたように、より多くの水利を確保する必要があると思われる。

4.電気系統単発出火型(主として 2 日目以降の特徴)

電気系統単発出火型パターンは、家屋からの出火であっても、また車両からの出火であっても、延焼範囲は総じて狭い。またある程度時間が経過後に出火する傾向があるため、避難後である可能性が高く、人的被害もそこまで大きいものではないものと考えられる。それゆえ、このパターンの津波火災はその他のパターンと多少異なることを認識の上、浸水した車両や建物の電気系統からの出火を減らす努力が必要と考えられる。また、わずかながらこのタイプには津波浸水後の通電火災と考えられる出火が見受けられ、この点についても配慮が必要と考えられる。

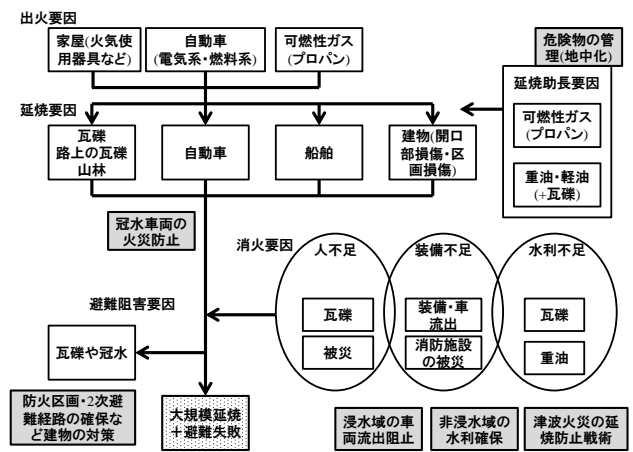


図 19 津波火災の発生メカニズム(白色)と対策(灰色)

6. 津波火災の出火予測式の構築とその応用

以上の記述では、東日本大震災時に発生した地震火災のデータベースを構築し、特に津波火災について様々な分析を試みた。本稿の前半の研究目的はこれで果たされたものとする。以降ではこれらのデータを用いて、津波火災の出火予測式を構築する。用意するデータ群は、上記の質問紙調査から得られた結果である。ここで、津波被害のあった市町村の出火率を考える。津波火災が発生した市町村は、いわき市、ひたちなか市、旭市、塩釜市、釜石市、岩沼市、気仙沼市、久慈市、宮古市、山田町、紫波町、鹿嶋市、女川町、松島市、新地町、神栖市、石巻市、仙台市、川崎町、多賀城市、大船渡市、大槌町、銚子市、東海村、東松島市、南三陸町、南相馬市、相馬市、日立市、八戸市、北茨城市、名取市、野田村、陸前高田市、亘理町、檜葉町、双葉町、広野町の全 38 市町村である。このなかで、159 件の津波火災が発生している。ここでは津波被害はあったが津波火災が発生しなかった市町村も含めて予測式を考えたい。ところで、これまで地震火災の出火率を知る際には概ね倒壊建物あたりの出火件数を主な指標としていた。これに対して本稿では、津波火災の出火原因(図 19 を参照)を代替する指標として、浸水建物数と浸水車両数を主な津波外力を表わす指標とし、出火率を考えていく。ただし、津波火災の中でも車両からの出火による単発の津波火災はその発生メカニズムも、大規模延焼に至る可能性も他の火災種別とは大きく異なるものと考えられる。そこで以下の作業においては津波火災を車両火災と車両火災以外に分けて評価し、それぞれの津波火災出火予測式を求める。

ここで、ある領域 i における津波火災件数を μ_i とし、また津波火災を火災種別によって車両火災とそれ以外に分類し、それぞれ $\mu_{1,i}$ 、 $\mu_{2,i}$ とすると $\mu_i = \mu_{1,i} + \mu_{2,i}$ が成り立つ。ここで車両火災は被災車両数に比べて極めて少数なため、その発生はポアソン分布に従うものとし、 x 件の出火が発生する確率を以下のように考える(車両火災以外は標本平均 \ll 標本分散のためポアソン分布とはみなさない)。

$$P_i(x|\mu_{1,i}) \approx \frac{(\mu_{1,i})^x e^{-\mu_{1,i}}}{x!} \quad \dots(1)$$

このもとで浸水建築物数を n_i とし、プロパン使用率を l_i 、世帯当たり所有車両数を e_i とし、津波火災は浸水建物数が多ければ多いほど増加するものとする。また車

両火災以外の火災は重油の拡散の有無の影響を受けるものとし、重油が拡散した場合は $m_i = 1$ そうでない場合は $m_i = 0$ と考え μ_{1i} および μ_{2i} を以下のように仮定する。

$$\ln \mu_{1i} = a_1 e_i n_i + d \quad \dots(2)$$

$$\mu_{2i} = n_i(a_2 + b m_i) + c l_i \quad \dots(3)$$

ここで領域 i を市区町村とし、津波被害のあった 63 市町村において消防本部に対するアンケート調査データをもとに係数を推定する(ただし、内陸部における津波火災のデータは除く)。すると a_1 は 0.000024, a_2 は 0.000264**, b は 1.080**, c は 0.00069, d は -0.798*となる(車両火災以外は重決定係数が 0.743 と当てはまりは良かった。一方で車両火災の適合度は有意確率 0.163 となった)。ここで本予測式の当てはまりを示すと、上記の予測式における予測値と実測値の関係は図 20 の如く示され、重決定係数は 0.627 となる。おおむね、実測値をよく再現する予測式ができたものと言ってよい。

応用事例として、南海トラフ巨大地震陸側①ケースの津波火災件数を推定する(東海地方が大きく被災するケース⁸⁾)。データの制約上、東日本大震災時の浸水棟数と全壊棟数の比を乗じて、2012年8月に内閣府の発表した津波被害を考慮すると、図 21, 図 22 のような出火件数予測が可能となる。重油が至る所で流出した場合、津波火災の件数は合計 270 件となるが、何らかの対策によって重油の流出を防いだ場合は津波火災の件数が合計 93 件となる⁹⁾。

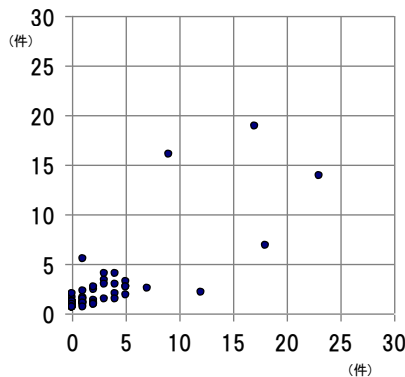


図 20 予測値(横軸)と実測値(縦軸)の関係

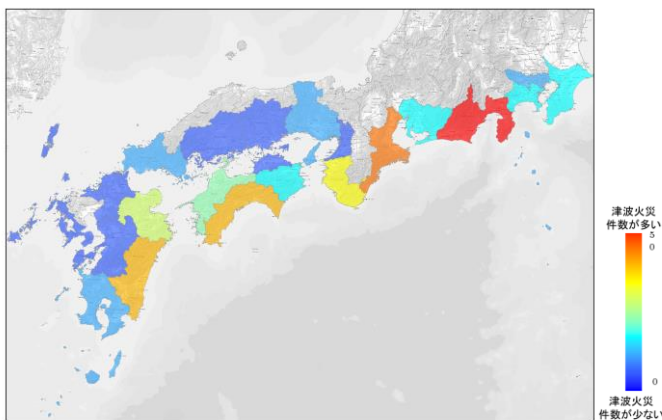


図 21 南海トラフ巨大地震陸側①ケースの津波火災出火件数予測 (270 件, 至る所で重油が流出)

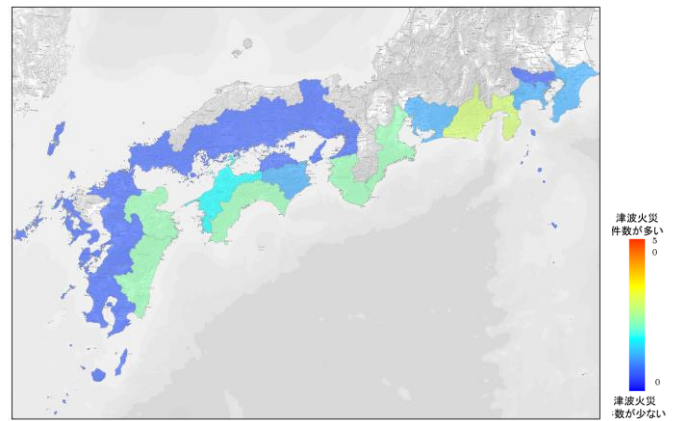


図 22 南海トラフ巨大地震陸側①ケースの津波火災出火件数予測 (93 件, 重油の流出がゼロ)

7. おわりに

本研究は、東日本大震災時に発生した地震火災に関する網羅的な調査を行い、本震災による地震火災の特徴を示した。特にこれまで全体像すら明らかにされていなかった津波火災について、上記の検討を詳細に行った点が一義的な成果となる。またその過程で、東日本大震災から 1 カ月間に発生した火災に要員分類コードを設けることで、出来る限り多くの事例を集めることに成功し、また詳細に分類した。この方法は、近い将来に地震火災が発生した際の有効な調査手法となり得るものであろう。

本稿の第 2 の目的は津波火災の出火件数予測式の提案である。この点についても上記のデータベースを利用することで、車両火災のより精度の高い予測という課題は残されているものの、おおむね当てはまりのよい予測式を提案することができた。この成果により、重油流出対策など各地における津波火災対策の効果を検証することが可能となり、また津波火災リスクの大小も相対的に把握することができる。これは、津波火災の発生を考慮した津波避難ルール作りに関する(その要否も含めた)重要な基礎資料となる。

謝辞

本研究で用いたデータは鹿島学術振興財団の研究助成金(研究代表者: 廣井悠)及び日本火災学会地震火災専門委員会(主査: 北後明彦, 幹事: 廣井悠)で行った調査によるものです。鹿島学術振興財団の皆様及び委員各位に厚く御礼申し上げます。

補注

- (1) 特に後者の目的は、この手法がまだ提案されていないことから、被害想定などでは津波火災が数値として盛り込まれず、定性的に言及されるのみになっている点を強く意識したものである。
- (2) 表 1 は津波浸水範囲内で発生した火災を要因分類コード 1 とし、津波浸水範囲外で発生した火災を無関係(要因分類コード: 0)、地震関連(要因分類コード: 2)、間接(要因分類コード: 3)、放火・不審火(要因分類コード: 4)、関連不明(要因分類コード: 5)、原因不明(要因分類コード: 6)、無回答(要因分類コード: 7)と分け、各々で要因分類詳細コードを割り当てたものである。なお「津波火災」という言葉は、そもそも筆者が東日本大震災直後から便宜的に用い始めた用語であり、これが近年一般に使われるようになったものである。従ってこれまでに津波火災の明

確な定義はあまりなされていない。本研究では津波火災を「津波が原因で発生した火災」と定義し、揺れによる火災、間接的に生じた火災とともに、表 1 の要因分類詳細コードが 100~103, 106, 108, 301 のものを津波火災として分析している。なお、地震火災も同じく「地震が原因で発生した火災」と定義し、表 1 の如く要因分類詳細コードが 100~103, 106~110, 200~206, 300~302 のものを地震火災とみなしている。

- (3) 地震火災の総数を既存調査・研究と比較すると、総務省消防庁の被害報(2014)は 330 件¹⁾、関澤ら(2013)は 269 件²⁾、秦ら(2014)は 312 件³⁾の地震火災を報告している。これに比べ本研究は日本 1 都 16 県の消防本部に震災後 1 カ月間の全火災を尋ねる網羅的な調査のため、374 件というより多くの地震火災をみつけることができた。ただし東京消防庁と宇都宮消防本部、千葉県消防本部からは地震火災に限定した火災情報のみ得られている。また相馬市原釜で発生した地震火災は消防本部が火災扱いとしていないため質問紙には回答されていないが、筆者のヒアリングによりその存在が確認されたため上記のデータに追加している。ところで本調査データには、浸水範囲内で震災直後(津波襲来前)に火災が発生したケースが含まれているが、その事例は津波火災ではなく地震火災として考えている(要員分類詳細コード 110 番に相当)。
- (4) その他、「瓦礫の撤去作業中に、エンジンカッターの火花が飛び散り、周囲の瓦礫に着火」、「地震発生直後、爆発により出火」、「停電のためトイレで照明用にローソクを使用、水洗タンク手洗い排水口付近に置いたため樹脂製レバーに着火」、「津波により車体の隙間に枯草が詰まったままの車両をけん引してきたため、センターブレーキ付近に詰まった枯草と回転するセンターブレーキドラムとの継続接触により摩擦接触により摩擦熱が生じ、当該枯草に着火」など。ただし出火要因が不明なものについては、津波浸水地域内のものを検討対象とした。
- (5) 以降では、火災種別が車両のものを「車両火災」、火災種別が建物ものを「建物火災」、火災種別が林野のものを「林野火災」と呼ぶ。
- (6) 後述するように、火災種別が「船舶」となる火災はあるものの、本調査では船舶からの出火は報告されていない。
- (7) ただし、車両が建物内に流されて建物内で火災になったケースは建物火災と判別している消防本部もある。
- (8) ここでは、ごく少数であるが収容物焼損やぼやなどの火災も回答されていたため、これらは簡単にみな 1 棟焼損とみなして算出している。
- (9) ここで提案した津波火災の出火件数予測式は、東日本大震災時に発生した津波火災のデータのみを用いたものであり、現時点における東日本の太平洋沿岸地域における一事例に過ぎない。それゆえ本検討の成果も「東日本大

震災時に発生した事例の限りにおいて」成立するもので、地域特性の大きく異なるエリアで発生する津波火災や東日本大震災時には見られなかった出火原因からの津波火災について精度よい予測を保証するものではない。しかしながら、東日本大震災ほど詳細な津波火災のデータを得られる災害はこれまでになく、この検討は今後の津波火災対策の一助になるものと期待される。なお社会条件が大きく異なりかつデータも十分でないアチエの事例は未検証であるが、ここで得られた出火件数予測式に奥尻の事例を代入すると(ただし世帯当たり自動車数を現在の北海道の平均 1.008 とし、プロパンガスボンベの利用率を 100%とする)、津波火災発生件数の期待値は重油の流出があった場合 2.2 件、重油の流出がない場合 1.7 件となる。当時の調査によると家庭用灯油タンクによる火災拡大が疑われているが、いずれにせよ奥尻島の市街地における出火件数は 2 件であり(船舶火災を除く)、予測式による出火件数推定値は大きく異なるものではないと考えられる。

参考文献

- 1) 総務省消防庁:平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第 149 報), 2014 年 5 月 21 日参照。
- 2) 関澤愛, 佐々木克憲:2011 年東日本大震災による火災の発生状況に関する研究-日債消防本部へのアンケート調査結果に基づく分析-, 日本火災学会論文集, Vol. 63, No. 3, pp. 23-30, 2013.
- 3) 秦康範, 原田悠平:2011 年東北地方太平洋沖地震における地震型火災の特徴, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 70, No. 4, pp. I_1107-I_1117, 2014.
- 4) 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, 消防研報, 第 47 号, pp. 3-11, 1993.
- 5) 廣井悠, 山田常圭, 坂本憲昭:東日本大震災における津波火災の調査概要, 地域安全学会論文集, NO.18, pp.161-168, 2012.
- 6) 日本火災学会:1995 年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告, 1996.
- 7) 国土交通省:東日本大震災における津波による損壊状況調査, 河川事業の評価手法に関する研究会, 2012.12.11.
- 8) 内閣府, 南海トラフ巨大地震の被害想定について, 2012.08.
- 9) 山田常圭, 廣井悠, 坂本憲昭:三陸沿岸市街地の津波火災の発生状況 特集:東日本大震災における火災の特徴, 火災, Vol. 61, No. 4, 2011, 08.
- 10) 廣井悠, 山田常圭, 坂本憲昭:東日本大震災に伴う大規模火災の概要-山田町, 名取市, 石巻市について 特集:東日本大震災における火災の特徴, 火災, Vol. 61, No. 4, 2011.04.

(原稿受付 2014.05.31)

(登載決定 2014.09.06)