

東日本大震災を踏まえた(1)津波型出火件数の推計式の試案、(2)従来型出火件数の推計手法の変更の必要性について

(1)Estimating equation for number of fires caused by tsunami ,(2)need of new estimating theory for number of fires caused by seismic motion, considering 2011 Tohoku Earthquake.

田山 裕信¹,
Tayama Hironobu¹

¹株式会社三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部
Department of Information Technology, Mitsubishi Research Institute

In order to respond to the anticipated earthquakes, estimation for the numbers of occurring fires is one of essential points to reduce tragedy. For that reason, in this article, (1) it is conducted to make an estimating equation for numbers of fires caused by tsunami, (2) It is shown that fires caused by seismic motion under 2011 Tohoku Earthquake had shown some different aspect from ordinary earthquakes, and therefore it is needed to establish new estimating theory for estimating number of fires which can use to any kind of earthquakes..

Keywords : Fire, Tsunami, Earthquake,

1. 本論文の目的

(1) 津波型出火

津波型出火は東日本大震災における出火の特徴の一つであるが、今回ある程度推定も交えつつ、一つの試案式を作成した。この式の正当性を確かめるには、実際の津波の様相を踏まえた確認を行うことが望ましい。

(2) 従来型出火

震度7レベルの揺れを観測したわりには揺れによる建物全壊率は各市町村とも小さかったといわれる¹⁾。それでは揺れによる出火件数についてはどうだったのか、この点について、震度別や出火要因別の分析を行い、今後の出火件数の推計にあたって検討が必要な事項をまとめる。

2. 津波型出火件数の推定手法について

(1) 津波型出火をもたらす出火要因

前提として「出火要因」といった場合、基本的には火気器具や電熱器具等、阪神・淡路大震災を踏まえた火災予防審議会答申²⁾の区分に従うこととしたい。この場合、電気火花は出火要因でなく、配線や自動車等が出火要因となる。ただし、漏えいした油やガスはそれ自体を出火要因とする。

津波型出火の場合、ある程度海水につかっても燃え続けられる状況から考えて、出火要因は主に油類とガスが考えられる。

ただ、被害の大きかった岩手県、宮城県の沿岸部のうち、岩手県では釜石市を除いて都市ガスの供給がないが、宮城県では、岩沼市、南三陸町、亘理町、山元町を除くと都市ガスが供給されており³⁾、それにも関わらず多くの津波型火災を出している。

したがってLPガスも一つの要因にはなりうるものの、津波型火災の一般的な要因としては油類と考えるのが妥当と思われる。

油類は、街中では自動車や多くの少量危険物施設に存

在するほか、港湾では、船舶、石油コンビナートなど、様々な種類の油が多く存在し、これらの施設等が津波によって破壊されれば、海面を漂流する可能性が高いため、比較的出火に至りやすいと思われる。また仙台及び塩釜の石油コンビナートでは火災⁴⁾があったとのことであり、危険物の流出も当然にあったと考えられる。

(2) 津波型出火件数の推定式

出火要因を出火に至らしめるためには、火花等の着火源が必要である。特に自動車の火花とともに出火したとの報告⁵⁾が多くあるため、自動車を主とした電気火花が主な着火源だと思われる。仙台市では、自動車から出火したが、その多くが仙台港の周辺だったとのことであり⁶⁾、仙台港の油の流出と自動車の冠水による火花が合わさって、多くの火災が仙台港周辺の自動車に集中したと考えられる。

このことから、出火要因となりうる油を持つ船舶や車両、建物や危険物施設を多く流出させるような破壊力を持った津波が襲った地域で、多くの車両等、電気火花の存在するほど津波型火災が起きやすいと考えられる。

このような状況を表す指標としては、第一には出火要因の量の多さや津波の破壊との関係が深い「津波による全壊棟数」が適切であると思われる。

よって、近代消防社「東日本大震災・ダイジェスト」⁵⁾における H23.9 時点での各消防本部・組合等へのアンケート結果をもとに、消防本部・組合等の別に、住家全壊棟数と津波型出火件数の関係をみることにした。

対象地域は、ある程度被害が多く、津波による被害が大半と考えられる岩手県、宮城県の沿岸地域とした。ただし宮古地区及び陸前高田市については回答がなかった。このほかの岩手県沿岸部の火災は全て津波型とされているため、宮古地区及び陸前高田市についても全数を津波型として推定を行った。

また、住家全壊棟数のうち揺れによるものと津波によるものとの区別は示されていないが、内陸部の被害状況

からみると、揺れによる全壊率はせいぜい 1%程度であり、沿岸部での全壊率の高さを考え、仙台市を除き津波による全壊とした。仙台市の場合は、津波以外の影響を受けている地域も多いため、全壊棟数 23,166 は、沿岸部以外での被害も比較的含んでいると思われる。詳しいデータが見つからないので、ここでは、仙台市の世帯約 50 万のうち、約 1%が揺れに被害を受けたと考え、津波による全壊棟数は約 5000 を引いた 18,000 と概算する。

整理した結果は次の通り。

表 1 消防別住家全壊棟数と津波火災件数の関係

消防名	住家全壊棟数	津波火災
宮古地区	6,833	9
大船渡地区	3,629	3
久慈地区	386	2
陸前高田市	3,159	1
釜石大槌地区	6,044	7
仙台市	18,000	22
石巻地区	29,256	26
塩釜地区	3,226	10
亶理地区	4,692	6
気仙沼本吉地域	11,670	11
名取市	2,805	12
岩沼市	723	1

両者の対数（底は 10）をとって津波型出火件数と全壊棟数（津波によるものと仮定）の関係を見ると、次の通り、比較的高い相関関係がみられた。

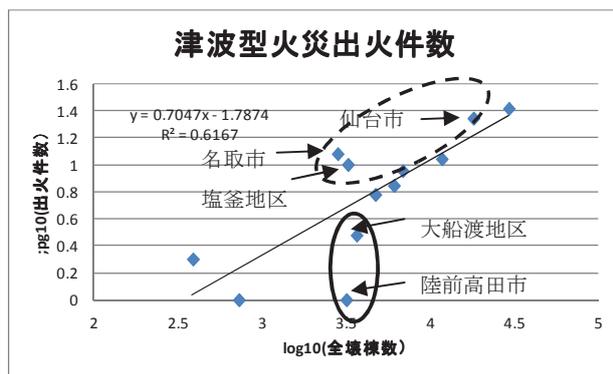


図 1 全壊棟数と出火件数の関係図

まず推計式よりも下に大きく出ているのは陸前高田市、続いて大船渡地区である。このうち陸前高田市は市内の消防本部が全壊しており、火災の確認に困難を要した可能性が考えられる。大船渡区は、出火件数が 3 件であり推定の半分であったが、明確な理由は見当たらない。

一方、推計式より大きく上にはみだしているのは塩釜地区及び名取市で、さらに仙台市もやや推計値より大きくなっている。

出火件数が多かった各地区には、津波発生後に共通の状況が生じている。仙台平野上での広い範囲にわたる冠水である。

とはいっても、名取市より南の、岩沼市、亶理町・山元町でも同様に広い冠水があったにも関わらず出火件数は平均的な範囲に収まっている。

このことから、塩釜地区から名取市の範囲と、それより南の地域で異なることは何であるか検討した。

この点、仙台・塩釜地区については、あわせて、仙台塩釜巻という東北地方唯一の国際拠点港湾が指定されて

いる。そして仙台、塩釜地区には石油コンビナートがあるのは前述の通りである。（なお東日本大震災後、仙台塩釜港には松島、石巻地区も含まれるようになっている）

したがって、国際拠点港湾を構成するような地域では、油が多く流出し、しかも平野部がつながっているため、隣接する地区までは出火要因となる油や油にまみれた瓦礫が多く流出すると考えれば説明がつく。

なお名取市には仙台空港があるため、その油の流出という可能性も考えられたが、給油装置等の破損・流出があったものの、燃料が火災につながることはなかった⁷⁾。また名取市での出火は全て本震から 1 時間後以降であることや、瓦礫火災が多かったことも、間接的な裏付けにはなる。石巻地区も同様に東松島に航空自衛隊基地がありこちらは現に機体の損傷等も見られたので、ある程度流出もあったとは考えられるが、その影響は分からない。

油の流出状況が与える影響は、正確には津波を含めたシミュレーションの再現によって流出範囲等を確認するべきだが、ここでは国際拠点港湾の市町村・地区のほか、冠水地域が連続した隣接地区までは、国際拠点港湾を抱える地域と同程度の危険性があると考えることとする（今回は仙台市、塩釜地区のほか石巻地区と名取市）。

出火件数の対数に対する説明変数として、全壊棟数の対数に加え国際拠点港湾のダミー変数を考慮した結果は比較的良好な結果が得られた。

重回帰の補正決定係数は 0.72 ある一方、有意水準は 0.12% とかなり低い値となっている。また個別の変数の P 値を見ても、全壊棟数（対数）は約 0.7%、港湾ダミー変数は約 3.4%、切片は約 3.6% と低い数値となっている。結果的に得られた推計式は次の通り。

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}(\text{出火件数}) = & 0.55 * \text{Log}_{10}(\text{全壊棟数}) + 0.42 * \text{国際拠点港湾ダミー} \\ & (\text{国際拠点港湾地区かその浸水時隣接地区}: 1, \\ & \text{それ以外}: 0) - 1.4 \end{aligned}$$

この回帰式を用いた結果と実際の津波件数を比較すると次の通りである。火災件数が少ない場合には誤差がみられるものの、10 件を超えるような地域については、オーダーレベルでは正しい結果となった。

表 2 津波火災件数の推計結果と実際値の比較

消防名	津波火災件数	
	実際	推計式結果
宮古地区	9	5
大船渡地区	3	4
久慈地区	2	1
陸前高田市	1	3
釜石大槌地区	7	5
仙台市	22	23
石巻地区	26	30
塩釜地区	10	9
亶理地区	6	4
気仙沼本吉地域	11	7
名取市	12	8
岩沼市	1	1

(3) まとめ

津波型火災の出火件数の推定式を作成した。ただし、この式の正当性を確認する上では、危険物や瓦礫火災等

の漂流状況の確認を行うことが望ましい。

3. 従来型出火件数の推定手法について

(1) 出火要因について

従来型の出火については、阪神・淡路大震災からは15年以上が経過しているため、出火要因にも変化が生じた可能性、またそれに伴い出火率自体にも変化が生じた可能性がある。一方で、東日本大震災では建物被害は明らかに揺れの大きさに比較して小さいかったが、出火については建物の全壊数よりも出火件数の方が多地域もあり（例えば東京都）、今回の出火件数は少なかったというべきなのか検討を要すると思われる。これは、出火率の指標として計測震度等が適切かという問題でもある。

このため、出火要因や出火率等について近代消防社の東日本大震災・ダイジェスト⁵⁾での各消防で出火要因に回答があった消防本部・組合等をベースに調べた。東北地方は沿岸部であっても従来型出火件数が発生したとの回答があった場合のデータも対象とした。このほか、回答があった茨城県・千葉県・東京都・神奈川県等のデータも対象とした。

ただし、東京都については、回答で直接出火要因が分かるものが少なかったため、消防防災博物館 HP⁶⁾にあった東京消防庁管内での出火要因のデータを利用して、出火要因を補強した。

一方で、回答のなかった消防のデータは含んでいない。このため、それらを含めると以下の結果とはやや異なる結果になりうるが、回答のあった消防の結果からだけでも、概ねの傾向はつかんでいると思われるので、整理した結果を示す。

まず、出火要因について調べた。

表3 消防別出火要因別従来型出火件数

署	合計	火気器具	ろうそく	電熱器具	電機器配線	危険物施設	工業炉	高圧ガス	漏えいガス	その他(原因判明)	その他(不明等)
弘前	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
八戸	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
奥州金が崎	6	0	2	1	1	0	0	0	0	0	2
仙台	17	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1
仙南	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
石巻	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
塩釜	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
大崎	5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
登米	7	0	3	1	0	0	0	0	0	0	2
黒川	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
いわき	6	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0
郡山	6	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0
水戸	4	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
日立	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
鹿島	4	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0
千葉	5	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0
市原	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
八千代	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
東京	34	2	0	15	5	0	1	0	1	1	9
横浜	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
川崎	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
合計	125	11	13	26	23	3	2	2	1	7	37

なお、「ガス爆発」のような事象や、「ストーブ」のように電気が石油か不明のものはその他としている。

この結果を阪神・淡路大震災(294件)での出火要因¹⁾と比較した結果は次の通り。上はろうそくを含む場合で125件、下はろうそくを含まない場合で112件。

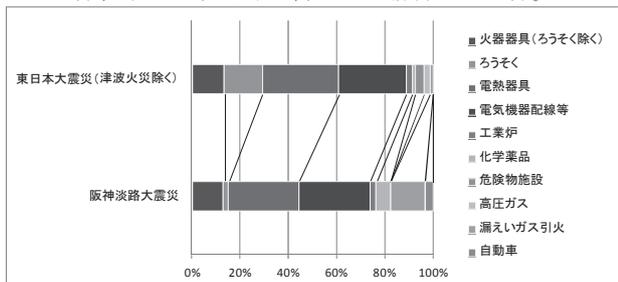


図2 出火要因の比較(ろうそく含む)

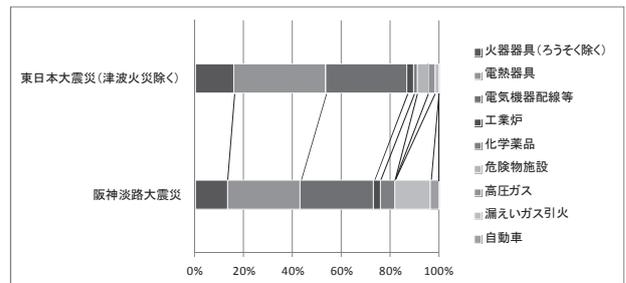


図3 出火要因の比較(ろうそく除く)

このようにしてみると東日本大震災ではろうそくによる出火が目立ったが、ろうそくを除外すると、阪神・淡路大震災で比較の見られた漏えいガスへの引火と化学薬品がほとんどなくなり、その分、火器器具、電熱器具、電気機器配線の割合が多くなっているイメージであり、全般的な傾向としては同じような状況が再現されているように見える。

阪神・淡路大震災後の対策により、対策をとりにくい電気機器・配線を除く主要な出火要因の割合は減少しているかと予想したが、この結果を見ると、(実数は別として)漏えいガスや化学薬品は着実に減少しているものの火器器具・電熱器具は、割合としてはかえって増加している。

一方、この結果を震度別(消防本部・組合等のある市町村の最大震度)に整理すると次の通りとなる。

震度4、震度5弱の地域でのろうそく3件、高圧ガス1件は除いている。

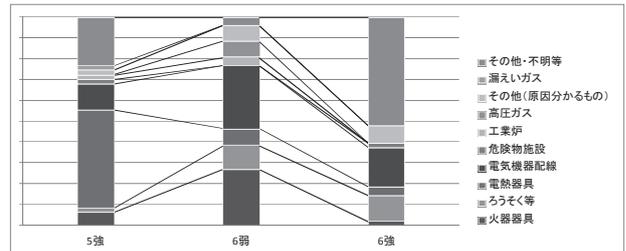


図4 震度別の出火要因

5強では、電熱器具からの出火が圧倒的に多く、6弱では火器器具と電気機器配線、6強では不明分を除くとろうそくと電機器配線が多くなっている。5強を観測している地域の出火件数の多くは東京都のものであり、特に火器器具、電熱器具では落下物によってスイッチが入ったり、鑑賞魚用ヒーターの過熱など、阪神・淡路大震災と似た経過に基づく出火が多い。

一方6弱地域の多くは仙台市より南の市町村、6強地域の多くは仙台市を含む東北の震源に近い市町村であるが、阪神で見られたような典型的な出火に至る過程が少ない。これは地域性の違いが影響している可能性もあるし、高層ビルの多い東京都の方が、阪神型の典型的な出火が多くみられた可能性もある。

(2) 震度と出火率の関係について

一方、揺れと出火率の関係について、阪神・淡路大震災では、約10万棟の全壊に対し出火件数は約300件であったので全壊に対する比率は約0.3%である。もちろん、全壊した建物300棟の中から1件出火するという意味ではなく、そもそもの揺れが、300棟の全壊をもたらす間に1件の出火を別にもたらすという意味であること、つまり相関関係はあるものの、因果関係を表しているわ

けではない点には留意する必要がある。

一方、東日本大震災では、震度に対する建築物の被害が非常に少ない(例えば震度7は全壊率 30%相当のはずが、栗原市では、1%程度)。このため、東日本大震災の波形は建物被害を起こしにくいものだったと考えられる。ところで、このように建物の被害が少ない波形の場合でも、やはり全壊率と出火率の関係はなりたっているのかという点は問題となる。つまり建物を壊しにくい波形は出火も起こしにくいのか。

この点、従来型出火のあった消防本部・組合等の震度別に世帯数(津波による全壊数を除く)を母数として震度5強以上について出火率を算出した結果は次の通りである。

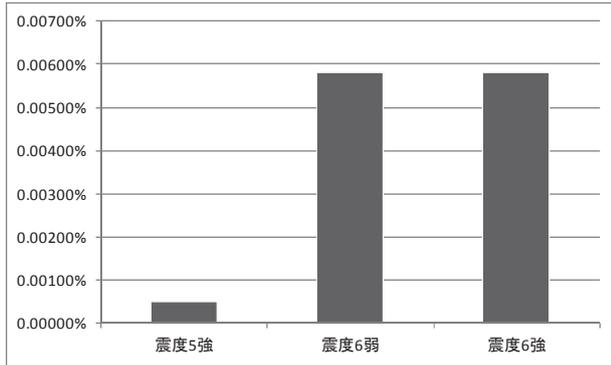


図5 震度別の出火率

震度6強での全壊率が1%だったとして、そのさらに0.3%は、0.003%であるので、震度6強に関しては、全壊率と出火率の関係はオーダーとしてはあっているように思われる。つまり、建物を破壊しないような揺れは、出火も起こしにくいという傾向はあるように思われる。ただし震度6弱でも出火率は変わらず、また東京都では、出火件数の方が全壊棟数よりも多いといったこともあり、建物全壊数の約1/300が出火件数という関係は、より低い震度では満たされていないようである。

一方震度と出火率の関係を直接表現しているものとして、東京消防庁・火災予防審議会の答申(2005)⁹⁾がある。

この結果では火気器具・電熱器具からの出火をイベントツリーにより求めているが、冬夕・住宅のケースで、震度5強 0.0035%、震度6弱 0.0094%、震度6強 0.0505%であり、今回の結果と比較すると、答申の対象が火気器具・電熱器具に限定されているにも関わらず、実際の出火件数の方が少ない。ただし冬夕は最も出火の多い時間であるため、冬15時くらいだと、数分の1にはなると考えられる。そうすると震度5強や6弱では比較的实际値に違いが、震度6強では、現実には、はるかに出火件数が少ない。

このように、推定される出火件数は、建物全壊率を揺れの大きさの指標としてみると震度6弱以下であわないのに対し、震度自身を揺れの指標としてみた場合、震度6強以上であわない。

もちろん、先に示した通り、全ての出火を考慮しているわけではないので、それらを含めて従来型火災の出火率を算出すれば、もう少し異なる結果が出る可能性はある点には留意が必要である。

(3)まとめ

分析結果から考えると、出火要因の全般的傾向は阪神・淡路大震災当時と類似しているものの、震度別にみると出火要因は大きく異なる。

また、揺れと出火率の関係は必ずしも明確でない。

少なくとも建物全壊率と出火率の相関関係から出火件数を求める方法は、全壊よりも出火の方が多地域があることから分かる通り、東日本大震災に基づく式を作成したとしても、それは阪神・淡路大震災時とは大きく異なる。

もし万能な全壊率と出火率の関係式がつけるとすれば、計測震度とは異なる地震波形の形状を示すような因子を含める必要があるだろう。

一方、建物全壊率にはよらない方法として東京消防庁・火災予防審議会のような個々の転倒・落下等の起きる可能性の確率を積み上げるイベントツリーに基づく推計手法がある。

この方法による精度を向上するためには、器具等の転倒や落下、移動に対する揺れの指標の適切な設定が重要となる。計測震度やPGV、SI値といったこれまでの揺れの指標では、現状を十分表わし切れていない以上、火気器具や電熱器具、電気機器・配線類の出火に至る過程について、実験やシミュレーション等も含めて検討を行い、どのような波形がどのような結果をもたらすのか、つまり各出火要因の出火率は揺れの波形からどのような指標をつくって、組み合わせれば、出火危険を表現できるのか明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 河北新報 焦点/最大震度・栗原/震度7、犠牲者ゼロ 2011, 6, 9
http://www.kahoku.co.jp/spe/spe_sys1071/20110609_01.htm
- 2) 東京消防庁・火災予防審議会：(火災予防審議会答申) 直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性上の解明と対策, 1997
- 3) 一般社団法人日本ガス協会 HP
<http://www.gas.or.jp/>
- 4) 消防研究センター【東日本大震災】(速報)コンビナート被害(平成23年4月26日報告)
<http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi>
- 5) 近代消防社 東日本大震災・ダイジェスト, 2012
- 6) クローズアップ現代 津波知られざる脅威
http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail02_3240_01.html
- 7) 佐藤清二：東日本と空港の研究課題、平成23年度「国土技術政策総合研究所 講演会」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouenkai/kouenkai2011/happyou/09.pdf>
- 8) 東京消防庁予防部調査課：東北地方太平洋沖地震により東京消防庁管内で発生した火災事例 - 東北地方太平洋沖地震により東京消防庁管内で発生した火災事例、消防防災博物館
<http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index.cgi>
- 9) 東京消防庁・火災予防審議会：(火災予防審議会答申) 地震時における人口密集地域の災害要因の解明と消防対策について, 2005