

# 1.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

東京理科大学大学院 関 澤 愛

## 1.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(以下では「東日本大震災」と称す)では、津波や原発による被害の想像を絶する凄まじさ、厳しさの陰に隠れてあまり目立たないかも知れないが、火災の面から見ても、実は大規模かつ広範囲の被害が発生している。火災の発生要因も大変多様であり、絶対的な尺度で見れば、今回の地震火災の被害は、その規模と多様さからみて、阪神・淡路大震災に匹敵する規模といってよい。これらの火災被害の調査と解明は喫緊の課題であり、また、それに基づく知見の今後の防災対策への反映は非常に重要な意味を持っている。

今回の地震に伴う火災に関して、従来の地震火災になかった際立った特徴としてあげられるのが、多数の津波に起因する火災の発生とその被害の大きさである。たとえば、震災当日、夜間のTV中継での航空自衛隊の上空撮影による映像が広範囲にわたる気仙沼市の市街地火災を生々しく伝えたことは今も記憶に鮮明である。このほかにも、炎上する家屋や瓦礫が津波に流される様子や、船や車が延焼するという状況も映像によって伝えられた。もちろん、このような津波に起因する火災だけでなく、震度5弱から5強を記録した東京においても、震災当日に32件の地震火災(通常火災とは区別されているもの)が起きており、従来型の地震に起因する火災も多く発生している。

本報告では、東日本大震災における地震火災の際立った特徴を示す津波に起因する火災を、従来からある地震に起因する火災とは分けて、その特徴に触れるとともに、その発生・拡大メカニズムについて模型実験を用いて検証した結果について概要を報告することにする。

## 2.従来型の地震起因火災と津波起因火災

図1は、総務省消防庁発表による「東北地方太平洋沖地震」136報(2011年8月11日時点)に基づいて作成した東日本大震災での地震火災の発生状況である。なお、発表の数値と若干異なるところがあるが、それは一部で地元消防本部によるデータを採用したことによるものであり、大方の傾向に影響が出るものではないことを断っておく。

この図で、淡色の丸は図2に示す海岸に面した被災市町村で発生した火災を表しており、その多くは何らかの形で津波の影響を受けているものと判断して、ここでは津波に起因する火災(以下「津波起因火災」と称す)として区別した。なお、これらの中には地震動の直接的な影響で発生した石油タンクやガスタンクの火災、従来型の地震火災も含まれている可能性があることをお断りしておきたい。一方、濃色の丸は津波の影響を受けることのない地域にある市町村で発生した火災であり、従来にも見られたタイプの地震火災(以下「地震起因火災」と称す)を示している。

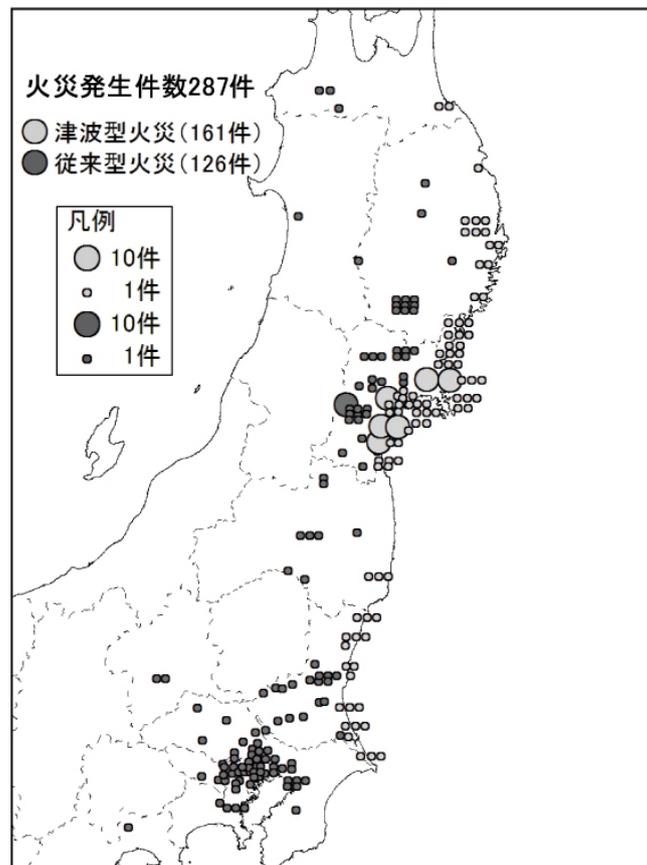


図1 東日本大震災による火災の発生状況

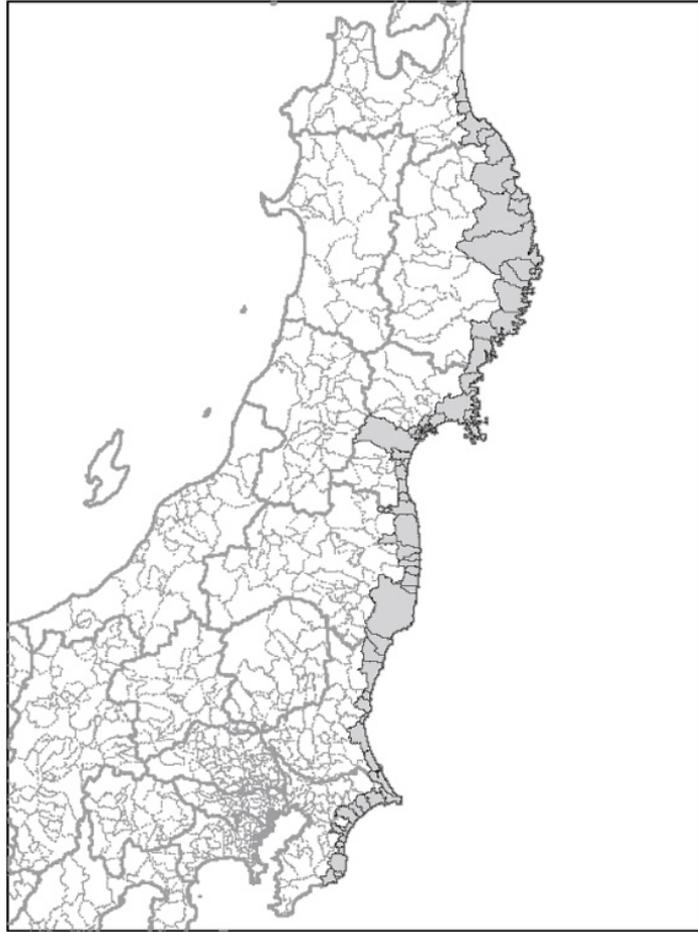


図 2 海岸に面した被災市町村※消防庁対策本部発表「東北地方太平洋沖地震 136 報」による

### 3.地震動の強さと倒壊率および出火率

図 1 の濃色の丸の火災、すなわち内陸地域の地震起因火災 126 件を対象にして、地震動の強さと倒壊率や出火率の関係について市町村をデータ単位として調べ分析を行った。なお、分析対象市町村には火災被害のなかった市町村も含めている。

図 3、図 4 は、倒壊率、出火率と震度との関係を示したものである。どちらの図でも震度 5 強以下と震度 6 弱以上で大きなギャップがみられ、今回の震災では震度 5 強以下の地域では建物倒壊も火災発生もきわめて少なかったことがわかる。ところで、阪神・淡路大震災のときには神戸市全体での全壊棟数は約 6 万 7 千棟であり、人口 10 万人当りにすると約 4,400 棟(当時の神

戸市の人口は 152 万人)の全壊棟数があった。当時の神戸市は震度 7 地域を多く含むことから、震度 6 強以下がほとんどである今回の被災地域との比較においては、その点の考慮を必要としつつも、東日本大震災の火災被害のスケールを概観する上で阪神・淡路大震災時の神戸市における火災被害との比較は一定の意味があろう。

今回の地震について、図 3 の震度別地域の倒壊率をみると、震度 6 強地域では半壊棟数の半数を全壊棟数に加えた数でも人口 10 万人当り 523 棟であり、上記の神戸市の値とは 1 桁ほど建物被害数のオーダーが小さい。また、図 4 の震度別地域の出火率をみても倒壊率と同様に震度 6 弱以上で出火率が高くなる。ただし、人口 10 万人当りの出火件数は、震度 6 弱地域で 0.82、また震度 6 強地域で 0.64 と震度 6 弱のほうが小さくなっているがデータ数の制約によるものと思われる。

ところで、阪神・淡路大震災時の神戸市での出火件数は 175 件であり、人口 10 万人当りにすると約 11.5 件の火災件数となる。これと今回の地震において最も大きな値となった震度 6 弱地域(0.82)と比べてもオーダー的にはやはり 1 桁小さいレベルである。このように、今回の被害を阪神・淡路大震災時の神戸市全体と比べると、人口当たりの倒壊率、出火率とも概ね 1 桁オーダーで小さく、決して大きな値ではなかったと言える。また、建物倒壊棟数に対する火災件数の比でも、同じく阪神・淡路大震災時の神戸市全体での値に比べ約 0.6 倍でやや小さい。

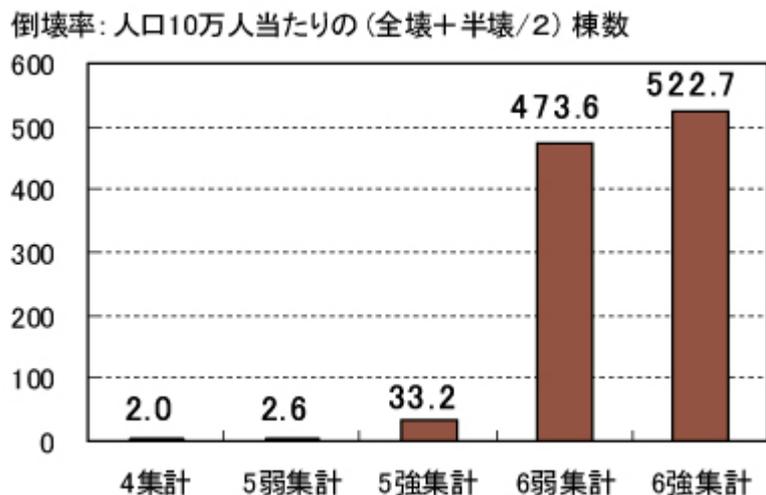


図3 震度と倒壊率の関係

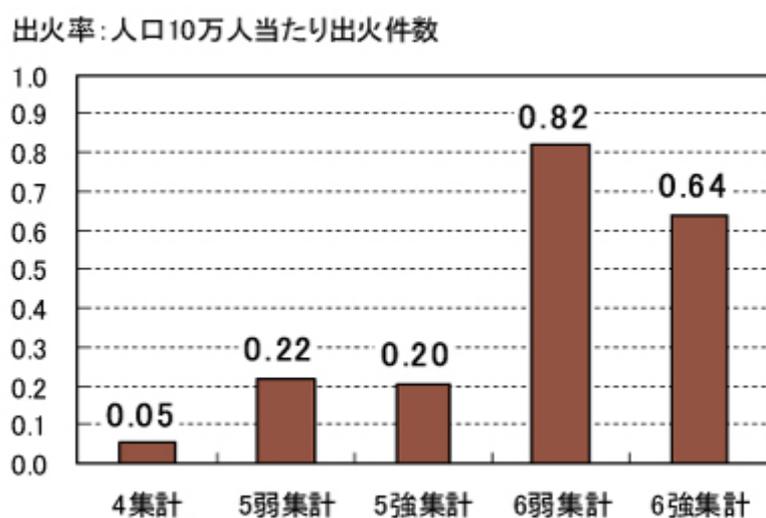


図4 震度と出火率の関係

#### 4.津波起因火災についての概観

今回の地震では、岩手県、宮城県の三陸海岸沿いの市町村をはじめ、福島県、茨城県、千葉県に至るまでの地域で津波による大きな被害を受けている。このなかで、岩手県、宮城県の太平洋に臨む市町村では、津波による直接被害のあとでさらに多数の火災が発生し、それらの幾つかは大規模市街地火災に発展している。津波に起因して発生した火災の全容はまだ明らかでなく、現在もなお、調査・研究が行なわれている段階である。したがって、津波起因火災の実態の詳細な解明については今後の課題として、ここで

は東日本大震災で見られた津波起因火災の発生パターンについて簡単に整理をしておきたい。

筆者が、TV ニュース映像、雑誌や新聞記事、さらに現地調査等から見聞した範囲だけでも、今回の津波起因火災の出火要因の多様さを以下のように幾つか指摘することができる。例をあげると、

- ① 転倒・破壊されたコンビナート地区、埠頭エリア内の石油タンク等からの漏洩油や LPG の漏洩ガスへの着火・流動と市街地の家屋等への着火
- ② 住宅レベルの灯油タンクや LPG ガスボンベの転倒、配管の破損による漏洩
- ③ 火のついた家屋や火のついた瓦礫の塊が津波に流されて建物等に着火
- ④ 船舶や車が出火し、これが流されて建物等に着火
- ⑤ 流された車が家屋や他の車と衝突して出火して、車、家屋とも炎上
- ⑥ 海水の塩分で鉄などの酸化が促進され、蓄熱による山積みの鉄くずからの自然発火

などである。

ところで、1993 年北海道南西沖地震の際にも、奥尻島青苗地区で津波襲来後に 4 件の火災が発生しており、2 つは湾内の船舶火災、残りの 2 つは津波浸水後の街区内の建物火災と原因不明の浸水地域での火災であった。これらのうち船舶火災 2 件と浸水地域 1 件の 3 件が津波に起因する火災と考えられている。大規模火災のもとになったのは街区内で発生した 2 件の火災である。(図 5)



図5 奥尻島青苗地区の火災の出火点と延焼動態(文献1)

筆者らは、当時、奥尻島青苗地区の火災を調査している<sup>1)</sup>が、津波に起因する火災の出火原因は解明できぬまま終わっていた。しかし、今回の地震で、きわめて広範に上記のような津波起因火災が多発した現実を目の当たりにすると、奥尻島青苗地区の火災は決して特異なものではなく、津波後に起きるごく普遍的な現象が当時も起きていたのだとみることができる。

津波起因火災については、消火活動の困難さについても指摘しておく必要がある。当然のことながら、津波からの避難により初期消火が困難であること、津波の最中はもちろん津波の去った後も多量の瓦礫が道路等を塞ぎ、消防車や消防隊員の進入、消火活動が困難になること、そしてライフライン被害に伴い消火栓が使えなくなるなどの多くの消防活動障害が発生することである。このように、津波起因火災の被害を防止し、また軽減することは大変困難な課題であることは間違いない。しかしながら、津波起因火災については、その出火、拡大要因、さらには避難方法も含めて、今後さらに調査・研究を進め、全容解明と問題の所在を明らかにして、少しでも将来おきる可能性のある同様の被害の予防対策、また被害軽減対策の確立につなげていく必要がある。

## 5.津波起因火災の主な発生パターンに関する推察

水が多量に存在する中で火災が発生することは、本来、考えにくいことである。しかしながら、今回の地震では津波による浸水が去った後だけでなく、津波に流されている最中においても、家屋や車、あるいは瓦礫自体が炎上するという現象が現実には起きている。このような津波起因火災の発生を可能ならしめる条件として必要なのは、気化した状態の燃料である。つまり燃焼が成立し、かつ維持されるためには、何らかの着火エネルギーのほかに「可燃性ガス」の存在が必要である。今回の地震で観測された事象の中で、こうした条件を満たすものとしては以下の3通りが考えられる。

- ① 引き千切られたLPGボンベ等から漏れたガスに、漂流物どうしの衝突エネルギーなどを契機として着火するパターン。(ごく普遍的に存在)
- ② 流された自動車が他の漂流物や家屋等との衝突により破損してガソリンが漏れ、その気化した可燃性ガスに衝突エネルギーなどを契機として着火するパターン。(これも普遍的に存在)
- ③ 木材瓦礫表面のささくれや毛羽立ちが海面に漏洩した油を浸透しやすくし、また浸透した油が揮発しやすい状態を生み出した結果、そこに何らかの着火源などが介在して出火し延焼するパターン。(気仙沼湾の火災での可能性)

2011年9月11日放映のNHKスペシャル(「巨大津波一知られざる脅威」)の番組映像では、気仙沼湾内の海面上を漂う瓦礫が炎上し、やがてそれが短時間に湾内で拡大していった状況が目撃証言とともに紹介されている。映像からは、瓦礫火災の勢いのある炎とともに多量の黒煙の発生が確認され、木材瓦礫だけでなく何らかの油成分も燃焼していることが推察できる<sup>2)</sup>。さて、上記の3つの条件のうち、3番目のケースは今後とも慎重な検討が必要だと思われるが、筆者らは模型実験により、その発生拡大に至るメカニズムについて考察を試みたので、以下にその概要を紹介したい。

## 6.津波起因火災の模型実験による再現と考察

気仙沼湾内にあった23基のオイルタンクのうち津波で22基が流されたと言われる。その流出成分の正確な量は分からないが、タンクの残油容量からの推察では、大半がA重油(成分の90%が軽油)であり、その他はA重油よりも揮発しやすい軽油やガソリンなどであったという。軽油の引火点は40～70℃、重油のそれは60～100℃で、いずれも引火点が高く常温では引火しない。たとえば、A重油の表面にガスバーナーの火炎を直接あててもなかなか着火しない。それでは、なぜ漏洩した油の大半がA重油であるにもかかわらず、目撃されているような現象が起きたのであろうか。その謎を解くひとつの鍵が海面上に浮かんだ木材瓦礫の存在である。

さて、津波によって破壊された家屋などから生じる大量の木材瓦礫の表面には多くのささくれがあるであろうし、そもそも木材の表面には顕微鏡で見ると微小な毛羽立ちが多数ある。(写真1)



写真1 木材表面における毛羽立ちの様子(顕微鏡写真)

これらの木材表面のささくれや毛羽立ちが、ローソクの芯のような役割を果たしたのではないかと考えられる。たとえば、ローソクの蠟は、炎によって溶けて頂部のくぼみに液体となってたまるが、この蠟の液体そのものに火を近づけても直接には着火しない。ローソクの芯を通じて毛細管現象により溶けた蠟の液体が吸い上げられて、芯表面から蒸発し、可燃性ガスとなってはじめて燃焼しやすい状態、すなわち着火しやすい状態ができるのである。

すなわち、木材表面のささくれや毛羽立ちが、これと同じように木材瓦礫内

に油を浸透しやすくし、また浸透した油が揮発しやすい状態を生み出した可能性がある。また、そこに何らかの着火源(津波に運ばれる物体同士の衝突による火花やその他の火種)があれば木材瓦礫表面に着火・燃焼することが考えられる。このような条件が揃うことによって、油にまみれた木材瓦礫が小さな火源でも着火しやすく、かつ燃焼が継続しやすい状態が生じたのではないかと考えられる。

そこで、筆者らはこの現象を検証するために、瓦礫火災の模型実験を行った。実験では、木材瓦礫に見立てた市販のまき材を、海水 10 リットルと A 重油 5 リットルを入れたオイル皿(80 cm 角皿)に 20 分間浸したのち、小火源(φ5 cm のヘプタン小皿)を木材瓦礫内に挿入し点火したのち、それが木材瓦礫や油層に着火、燃焼継続するかどうかの目視観測を行なった。実験結果の概要は以下のとおりである。

- 1) ヘプタン小皿への点火の直後から、木材はパチパチという音を立てながら着火し燃焼を始めた。その後、はじめは木材瓦礫自体の燃焼が継続し、次第に成長していく。
- 2) 次に、数分後に木材瓦礫の下部にある重油表面が火炎からの輻射熱によって熱させられ揮発が盛んになって、やがて引火点を超えて油自身が着火し燃焼を始めるようになった。この段階に至ると、木材瓦礫と一緒に油の液面自身も燃焼するので、燃焼の勢いが格段に増す状態になった。
- 3) さらに、次に注目すべき現象が起きる。この油面の燃焼が始まると、木材瓦礫火炎からその周辺の油層表面への輻射熱による液面温度上昇に伴う蒸発が順次促進され、約 7 分後には見る見るうちに周辺の液面に青白い炎が現れて燃焼し始め、それが油面火災として短時間に伝搬していく様子が観測された。(写真 2)

上記の実験結果は、海面上の油に浸された木材瓦礫が小さな火源で着火

し、燃焼を始め、やがてそれが油面自体の燃焼を引き起こす可能性を示した  
ものと考えられる。まだ数少ない試行実験の段階ではあるが、津波起因火  
災現象のメカニズムの解明の端緒になれば幸いである。

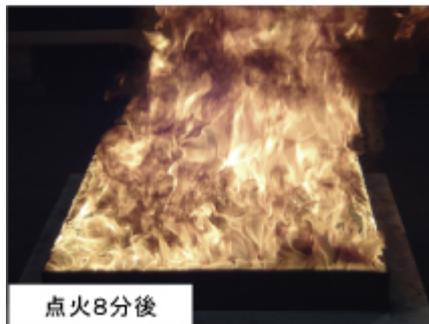
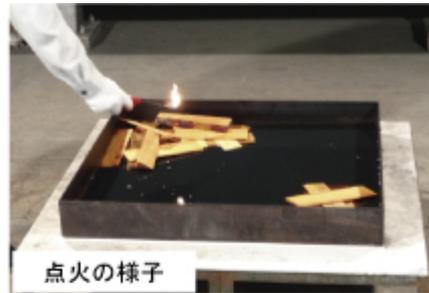


写真2 津波火災を模擬した模型実験の経過

## 7.まとめ

本報告は、消防庁発表の資料などの公表の資料のほか、筆者らの調査および実験を基に、東日本大震災による地震火災の全体像、および際立った特徴を示す津波起因火災の発生・拡大メカニズムについて考察を行なった結果を紹介したものである。なお、できるだけ最新の情報に更新することを心がけているが、市町村における被害調査の進展につれて、火災やその被害も時間の経過に伴い変動することもあると思われ、本報告に不十分な箇所や不正確なところがあることは免れないであろう。その点をご容赦いただきたい。今後の更なる調査の進展、分析の推進によって、正確を期すとともに、より一層内容の発展と深化を図っていきたいと思う。

## 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、応用地質(株)の佐々木克憲氏には資料の整理やデータの作成で多大な協力を頂いた。また、津波起因火災の模型実験は東京理科大学の松山賢准教授、沖永誠治研究員との協力の下で実施したものである。ここに記して厚く謝意を表したい。

## 【参考文献】

- 1) 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、消防研究所、1993年。
- 2) 菊田清一:「東日本大震災」気仙沼の被災状況、火災、312号、pp.34-361、2011年。