

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月3日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510172

研究課題名（和文）地震火災時の人的被害を考慮した消防運用戦略に関する数理的研究

研究課題名（英文）Strategic Firefighting Operation to mitigate both the human loss and physical loss in case of post-earthquake fire

研究代表者

糸井川 栄一 (ITOIGAWA EIICHI)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80334027

研究成果の概要（和文）：本研究は、大規模地震時における人的・物的被害の軽減のために、消防隊等による消防力の運用とその効果を記述したモデル構築とシミュレーションによって、戦略的な消防運用を明らかにする事を目的とする。主たる研究成果としては、(1)市街地火災からの広域避難安全性確保から、消防運用や市街地整備の具体的方策を明らかにしたこと、(2)東日本大震災時の公設消防、消防団、市民の消火活動実態を聞き取り調査により明らかにし、津波に起因する火災の消火活動の問題点と対応方策を明らかにしたこと、などである。

研究成果の概要（英文）：This study aims to clarify the strategic firefighting operation to mitigate both the human loss and physical loss in case of post-earthquake fire. Principal results of this study are as follows; (1) to make clear the concrete measures of firefighting operation and urban improvement from securing safety level of wide area evacuation from post-earthquake fire, (2) to clarify the problems and countermeasures of firefighting against fires caused from tsunami by interview to residents or fire brigade members of suffered area of the Tohoku Earthquake.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：社会・安全システム科学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：地震火災，市街地火災，消防力運用，人的被害，東日本大震災，津波

1. 研究開始当初の背景

大都市直下の地震の切迫性が指摘されている中、内閣府中央防災会議、東京都は「首都圏直下地震の被害想定」を発表した。これらの報告書によると、特に地震発生時の蓋然性が高く、被害規模も大きいとされる東京湾北部を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生した場合には、人的・物的被害が甚大になることが想定されている。また、中央防災会議が発表した「中部圏・近畿圏内陸地震に

係る被害想定結果について」でも大きな被害が発生する可能性を指摘している。

これに対して、中央防災会議は、地震防災戦略として地震による死者数を、住宅・建築物の耐震化、密集市街地の整備、初期消火率の向上によって今後10年間に半減し、特に気象条件の厳しい風速の場合には、その多くを火災による死者の減少で対応する目標を定めたが、住宅・建築物の耐震化、密集市街地の整備等は一朝一夕に達成可能なもので

はなく、また、初期消火率の向上も不確定要素が高く、これらの対策のみによって10年以内に目標が達成可能であるとは積極的に支持しがたい状況にある。

一方、上記の対策からは忘れられている重要な要因として、市街地火災発生時における消防力の効果的な運用がある。火災を初期のうちに鎮圧することが大火災を防ぐ最も重要な方策であり、火災の早期発見と一挙鎮圧は、震災時における消防活動の第一原則である。しかしながら、地震時には同時多発火に対応できる消防力に限界があるため、火災被害の状況を早期に把握し、得られた情報に基づいて効果的に消防力を運用することはきわめて重要である。把握した火災被害の情報を効率的に人的・物的被害の軽減に活用するために、戦略的な意思決定を行うことが必要不可欠である。

2. 研究の目的

以上の観点から、本研究は、倒壊家屋からの救助活動、焼失被害軽減のための消火活動、住民の広域避難支援のための消火活動等に対応するために、消防隊等による消防力の運用とその効果・困難状況を記述したモデルを構築し、地震時の市街地火災による物的被害・人命被害等を軽減するための消防力運用の基本的方針について検討・分析することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)消防隊等による消防活動の被害軽減効果に関するモデル構築とリスク評価

消防隊等による消防活動効果の解明、過去の消防力運用効果に関する評価手法に関する研究を調査し、既往研究が消防力運用効果の評価に当たって持つ観点・手法について整理・分析を行うとともに、これまでに筆者が構築してきた消防運用に関する評価モデルを整理した。また、既往研究としてはほとんど存在しないことが判明した住民の広域避難リスクに関する定量的評価の方法についてシミュレーションモデルを構築しケーススタディーを実施した。

(2)津波起因火災における消火活動実態と消火活動困難性の評価

本研究の当初段階では、津波を想定しない大都市域における地震時の市街地火災を念頭に、消防活動による人的被害の軽減効果を定量的に推計し、より効果的な消防活動戦略を検討するものであったが、東日本大震災の発生を受けて、津波の襲来を前提とした戦略的な消防活動について調査・研究することが喫緊の課題であると判断し、火災拡大状況、消防活動状況、活動困難要因について、被災地の消防隊・消防団・住民に対するヒアリング調査、アンケート調査を行うことが極めて

重要と判断し、重点的にヒアリング調査、アンケート調査を行った。

4. 研究成果

(1)消防隊・消防団による消防活動の被害軽減効果に関するモデル構築とリスク評価

①分析の方法

大地震の発生により甚大な被害の発生が危惧されており、また市街地の大半が面的に準防火地域に指定されている東京都特別区を対象とし、地震火災からの広域避難時における避難者の被災可能性を、延焼拡大・広域避難シミュレーションモデルを構築し、消防運用による広域避難時の避難者の被災リスクを定量的に評価する。本研究では、後述する東日本大震災の発生を受けて被災地での消防運用の実態調査に研究の対象を移したため、消防運用を実施しない基本ケースのリスク評価に留まった。

②シミュレーション結果とリスク評価

本研究は、広域避難の観点からマクロな火災状況を考慮した広域避難モデルを構築し、シミュレーション実験による検討を行った。これまでの避難モデルと比較すると、火災状況の認知に不完全情報の概念を取り入れたこと、火災認知の進展にしたがって避難途中の経路変更を考慮したこと、火災が発生している市街地の通行可否の不確実性を考慮したことが特色としてあげられる。

シミュレーション実験の結果、得られた知見を以下にまとめる。

- 平常時における不慮の事故のリスクと比較すると、地震火災からの広域避難時の被災可能性は低い。
- 延焼速度が高い地域を優先的に整備する整備方針（最低値確保型）において被災可能性を限りなく0にするには、面的に延焼速度10~20[m/h]程度を確保する必要がある。
- また、最低値確保型のような局所的な改善方針は、被災可能性の改善の地域格差を生じさせる。
- 現状の延焼速度に関わらず、全域を少しづつ整備する整備方針（改善割合型）において被災可能性を限りなく0にするには、現状から20~40[%]程度の延焼速度の改善が必要である。
- また、改善割合型のような面的な改善を行う整備方針は、広域な移動が必要である広域避難という観点からは効果的である可能性が示唆された。

次に、各種パラメータを変化させることによる実験結果より、市街地整備や消防運用と併せて実施していくべき対策についてまとめる。

- 出火件数を減少させることによって被災可能性の大幅な改善が期待できることを示した。したがって、地震時の出火数の主要

な部分を構成する家庭や飲食店舗等からの出火を効果的に低減させるため、出火確率が相対的に低いとされている火気器具・電機製品への買い換えを促進することは、火災による物的被害の軽減のみならず、広域避難という観点からも好ましい。また、早期消火を促すような消防力整備も重要である。

- b)このモデルは避難者一人だけが避難行動をとるものであるが、現実の群集避難を念頭に歩行速度が遅くなった場合には、被災可能性が上昇することを示した。不燃化・難燃化・火災防御により延焼速度を低減させることは、相対的には避難速度の上昇を意味し、避難を円滑化させ避難リスクを低減させることと同義であるが、一方で、集団避難時において歩行速度が減少せざるを得ない場合であっても、市街地火災から安全に避難可能な道路整備が求められる。
- c)避難開始時刻の遅延は、避難リスクの多大な増大をもたらすことを示した。したがって、早期の避難開始を促す消防等による適切な避難指示とそれによって避難を開始する住民の決断力の醸成が重要となる。

(2)津波起因火災における消火活動実態と消火活動困難性の評価

①分析の方法

被災地において火災調査や聞き取り調査を実施し、火災発生時の状況や消火活動状況を明らかにするとともに、公設消防が津波火災を消火出来なかった原因を分析し、津波火災特有の消火活動困難性を明らかにする。

②調査概要

津波火災の発生機構、延焼拡大状況を明らかにするため、岩手県野田村、同宮古市、同山田町、同大槌町、同釜石市、宮城県気仙沼市、同南三陸町、同石巻市、福島県いわき市の市町村において延焼範囲調査や住民への聞き取り調査などの火災調査を行った。なお、各地域における延焼範囲の特定及び延焼面積の算出については、各調査日において、流出していない建物や電柱等のコンクリートに残る火災の焼け跡、建築物基礎部分の焦げ、火災後に残る土壌の灰、外壁や樹木の変色、アスファルトの溶け、雨どいの溶けなどから火災の延焼範囲を判定し、住宅地図に記載しながら、記録を残した。

③消火活動実態

a)住民による消火活動

聞き取り調査の結果から判断すると、津波火災が発生した場所は、住宅や車両が流出し、それらが山のように集積した場所であることが多く、特別な装備がない住民が近づけるような状況ではなかったと推察される。また、津波が再来襲する危険があったことに加え、大きな余震が度々発生していたことから、「命が大事だからみんな逃げてしまう」(山田

町：住民 K 氏)、「みんな避難することに精いっぱいだった」(大槌町：住民 A 氏)との証言があるように、多くの住民は、初期消火に当たるよりも避難を優先する状況であった。

高台などに避難していた住民の中には、多くの住民が津波の被害に遭ったことから、「土手を降りて助けに行った」(石巻市：住民 H 氏)、「流されてきた人たちを誘導し、服を着せたりした」(大槌町：住民 K 氏)、「津波で流されてきた人たちを救助することに夢中で、(初期消火は)出来なかった」(山田町：住民 K 氏)など、住民の救助、避難誘導を火災対応よりも優先させた住民も多かった。

このような状況の中、いくつかの地域では、住民によって消火活動が行われ、延焼を防止した事例があったことがヒアリングの結果、判明した。

b)消防団による消火活動

地域防災力の核となる消防団による消火活動は、調査対象地域である山田町、大槌町、気仙沼市、いわき市においてそれぞれ確認された。しかし、東日本大震災では、津波により 254 名の消防団員が亡くなり、消防団関係車両も 261 台が被災するなど甚大な被害を受けたため、津波来襲後に十分な活動が出来なかった地域が多かった。また、放水活動に従事出来た場合においても、後述する公設消防と同様に、通常どおりの活動は出来なかった。

c)公設消防による消火活動

津波火災の発生地域を管轄する消防本部により、気象庁から津波注意報・警報が発表された際の活動基準が異なるとともに、津波による消防署所の被災状況もまちまちであるため、火災への対応状況が異なる。

山田町においては、山田消防署は、津波警報が発表された時点で車両を高台へ移動させる計画があり、ポンプ車の被害はなかった。また、防火水槽や用水路が活用できたため、消防水利も確保することが出来た。しかし、消防隊、消防団、自衛隊が協力し、消火活動を実施したものの、津波浸水区域内は移動が困難であったこと、送水に隊を取られ放水口数が少なくなったことなどの理由から延焼防止が精いっぱい活動であったと推察される。

気仙沼市においては、鹿折地区の火災は、消防隊、消防団が協力し、消火活動を行ったが、津波浸水区域内は、住宅の残骸や釘付きの廃材、鉄骨や自動車などが瓦礫の山となっており、消防隊は容易に移動することが出来なかった。一方、JR 大船渡線鹿折唐桑駅以北は、軌道が盛土及び切土部分に敷設され周囲よりも小高くなっており、津波による浸水及び瓦礫の集積を免れたため、消防隊、消防団の活動スペースが確保された。しかし、3 月 11 日の主な消火活動は、浸水被害の少なかった火災現場北側及び軌道上からに限られ、街

区火災の延焼防止の戦術が取れなかったと推察される。また、鹿折地区内でも複数の箇所から出火していること、LPガスボンベや車両、船舶から流出したオイル等の影響により火勢が強かったこと、消防隊の放水口数が少なかったことなどから、北側及び西側の延焼は最小限に食い止められたものの、南側への延焼拡大は防ぐことが難しかったと推察される。

いわき市においては、他の津波火災発生地域と比較すると、多くの消防隊、消防団が火災現場に集結していたことが明らかとなった。しかし、津波浸水区域内の消防水利は瓦礫・海水に覆われ使用することが出来ず、浸水区域外のほとんどの消火栓も地震又は津波の影響により使うことが出来なかった。また、ポンプ車が河川から取水した際、引き潮時は水が無くなり、上げ潮時は吸管が浮き上がるなど、津波の影響を受けたため、安定した吸水が難しいことが明らかとなった。さらに、津波再来襲の情報が消防本部から入った場合、安全な場所に一時退避していたため、退避している間に延焼が拡大していたと推察される。これらのことから、多くの消防隊が集結したいわき市の津波火災現場においても、延焼を防止することが困難であったことが明らかとなった。

上記の各地での消火活動実態をまとめると、津波火災発生地域では、津波来襲後、多くの住宅や自動車等が流出しており、出火初期時点においても火点に近づくことが難しい状況であった。また再度来襲する津波や余震が度々発生していた。

そのような状況であったため、地域住民が初期消火に当たる事例が非常に少なかった。また、住民が消火活動に当たった事例においても、可搬ポンプなどの専用の消火器具を用いた事例はなく、バケツリレーや土を使った窒息消火などの消火方法に限られた。そのため、住民による消火活動は、延焼防止も困難な状況であった。

公設消防の活動状況は、消防庁舎や消防車両が被災し、消防活動が行えなかった地域があった他、消防車両等に被害がなかった場合においても、津波浸水区域内は車両の走行が出来ないことから火災現場に到着できない消防隊も多かった。また、現場到着後も住宅等の流出物により移動が困難であったこと、消火栓・防火水槽が瓦礫等に埋まってしまったこと、津波来襲の情報により退避しなければいけなかったことなどの理由があり、消火活動を行うことは困難な状況であった。

④消火活動障害

津波火災現場における消火活動障害をより詳細に明らかにするため、管轄内で津波火災が発生した三地域の消防本部の職員及び緊急消防援助隊として宮城県気仙沼市で活

動した東京消防庁の職員、計102名に対し面接調査を行った。面接調査では、津波来襲前後における消防活動の困難性、特に消火活動障害に関する質問を行い、その回答及び自由意見から活動障害に関する発言を抽出した。そして、得られた断片的な事実について、消防本部ごとに集計するとともに、KJ法を用いて各活動障害を分析し、津波災害時における消火活動障害を構造化した。

a)車両による移動の問題

津波来襲後、津波浸水区域内のほとんどの道路が流出物の影響で走行できない状態であった。そのため、高台へ避難させた車両の中には、高台から下りる道が無くなり、一時的に消火活動(救急活動)を実施出来ない車両もあった。

また、火災現場へ出場する場合も、沿岸部の道路が使えないため山間部へ迂回せざるを得ず、現場到着まで時間を要した事例もあった。さらに、津波浸水範囲中心部から出火した火災や山麓で出火した火災など現場到着することが難しい火災は、津波再来襲の危険が無くなる、又は道路が啓開されるまで火災現場に接近することが出来ず、対応が遅れた事例もあった。

b)二次災害危険に関する問題

津波火災現場は、流出した家屋や自動車、大量の木片が乱雑に積み重なっている状況であったことに加え、夜間は真っ暗であったこと、強い余震が度々発生していたことなどから、移動中に足場を踏み抜いたり、転倒したりした隊員が多くいた。また、現場には、くぎやガラス片、鋭利な鉄骨などがあり、受傷する隊員も見受けられた。

河口に近い河川や海岸から取水していた隊の中には、越水してくる津波の危険を感じながら活動している隊員も見受けられた。

c)ホース延長に関する問題

二次災害の危険性があり、かつ泥砂や海水で足元が悪い活動環境において、消防隊員は資器材を持って歩かなければならず、津波火災現場における活動範囲が制限された。

消防本部ごとのホース延長時の問題は、「瓦礫が多い」こと、瓦礫の中に釘やガラス、鋭利な鉄骨などが含まれていたことから、「ホースの損傷」、「怪我の危険性」を問題として挙げる消防職員が多かった。

d)消防水利に関する問題

消火栓は、地震又は津波の影響により使えないものが多かった。防火水槽は、津波浸水区域内のものは、瓦礫や水、泥に覆われており、見つけることが難しい状況であった。

また沿岸部は、海や河川などの自然水利が豊富なため、防火水槽が多く設置されていない事例もあった。消火栓や防火水槽を使用できなかったため、海や河川の自然水利から吸水せざるを得ない状況もあったが、再来襲に

よる津波の危険性があり、平常時のように使用することは困難な状況であった。海や河川の自然水利を使用した事例もあったが、引き波時には水量が足りず吸水出来なくなる状況が生じたり、押し波時には、護岸から越水したため、ポンプ車を残し退避したりする状況も生じた。

e)放水活動に関する問題

火災現場周辺に使用できる水利が少なかつたため、長距離送水をせざるを得ず、送水活動にポンプ車や可搬ポンプが割かれた。そのため、放水隊・放水口数が少なくなり火勢に対して劣勢に立たされた。また、津波の影響を受ける自然水利から取水していた隊から送水を受けた隊は、水圧が弱かったり、放水中に送水が急に止ったりするなど安定した放水活動が困難な状況であった。さらに、火災現場周辺の道路は、流出家屋や瓦礫で覆われているなど移動に関する物理的な問題があったため、定点からの放水に限られ有効な放水活動を行うことも困難な状況であった。

f)津波からの退避に関する問題

津波監視隊・関係機関から津波来襲の情報があつた場合や大きな余震が発生した場合は、延焼が拡大している状況においても消防隊員の安全を確保するため、多くの消防隊が高台や津波浸水区域外まで一時退避を行っていた。この退避の際、水の入った消火用ホースを移動させることは困難であつたため、活動現場に残さざるを得なかつた。しかし、退避中に延焼が拡大し、ホースやノズルが焼損する状況が複数地域で発生した。また、震災当日は外気温が低かつたため、ホース内やポンプ車中継口付近の水が凍結する事態が生じる地域もあつた。このように、退避中に消防資器材が使用出来なくなることもあり、交換作業などのため活動再開に時間を要する場合もあつた。

消火活動現場から安全な場所への移動に関しては、瓦礫が積み重なっている場所を通らなければならず、退避に多くの時間が必要となつた。また、退避途中に、安全な高台や堅固な建物が無い活動現場も多く、「大きな津波が来たら助からなかつた」と感じながら消火活動をしている消防隊員が数多くいた。消防車両についても車両から吸水用の吸管を巻き上げることに時間がかかたり、送水しているホースは水圧がかかっているため、車両から離脱することに時間がかかたりした。そのため、車両はその場に置いて隊員だけが退避する事例も多かつた。

津波浸水区域内からの退避後、隊員が離れ離れになってしまった場合、無線が輻そうしており、お互いの安否確認が出来ない状況も発生していた。

g)延焼拡大に関する問題

津波火災現場には、流出家屋や木材などが隙間なく集積していたため、消防隊が延焼阻止線を設定することが非常に難しい状況であつた。また、延焼を食い止めていた状況においても津波の来襲が予想された時は退避しなければならず、地域によっては複数回繰り返され、延焼を防止することが難しい状況であつた。

また、瓦礫は乱雑に積み重なっているため、表面のみを消火しても下の方では火種が残っている場合があり、対応していない時に風が吹くと再び燃え始める状況であつた。しかし、延焼範囲が広い状況では、全ての場所で再燃火災が生じないように対応するためには、人員も資器材も足りない状況であつた。

h)延焼助長物質の問題

津波火災現場には、バルブ部分が融解したLPガスボンベが数多く散乱しており、消火活動に当たっていた消防職員は「ガス臭かつた」「ボンベが何度も爆発していた」と証言している。また、LPガス以外には、多くの自動車が出し、押し潰されていたことも関係し、「ガソリンの臭気があつた」「車も爆発していた」との発言もあつた。さらに、寒冷地に多い、石油給湯器(灯油ボイラー)のタンクも多くが流出しており、延焼を助長したと推察される。

⑤まとめ

津波火災の実態及び津波火災現場における消火活動の実態を明らかにした。津波火災は、津波浸水区域内において流出物や津波の影響を受けた住宅等から出火し、一部分に集積した流出物を延焼媒体にし、火災が拡大した。また、津波来襲直後、同時に一地域の複数の場所で出火するケースが多く、それぞれの火災が合流火災となり、大規模火災に至るケースが多いことが明らかになった。

住民による消火活動に関しては、津波浸水区域内で発生した火災現場は、流出物等が散乱しており、容易に接近することが出来ないこと、津波再来襲危険があること、さらに津波被害に遭つた方の救助や救護を優先する必要があることなどから、初期消火を行うことが難しい状況であつた。

また、延焼防止活動においてもバケツリレーや土を用いた窒息消火活動等の人力による活動が多く、延焼防止も難しい状況であつた。

公設消防による消防活動に関しては、津波により消防庁舎、消防車両等が被災してしまうことにより、津波後の活動が出来ない消防本部が多数生じた。

また、消防庁舎や車両が無被害であっても、火災現場までの道路が津波の影響を受け通行することが出来ず、放任火災になつた火災も多数生じた。消防隊が現場に到着することが出来た場合においても、多数の問題が相互

に影響し合い、大規模火災に至っていた。

以上のことから、津波浸水区域内で発生する津波火災は、消火が困難であり、大規模火災になり易いと言える。今後の津波火災対策としては、津波浸水想定区域外に大規模な消防水利を設けるとともに、公設消防の到達不可が予測される地域においては、住民や地元消防団が使える可搬式ポンプ等を整備していく必要がある。しかし、消火活動において津波火災の延焼を防ぐことは限界があることから、沿岸地域においては、火災を発生させない、火災が発生しても燃え広がらない街づくりを推進していく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ①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—, 火災学会論文集, 日本火災学会, 第62巻 第2・3号, 査読有, 1-16, 2012.12
- ②天笠雅章, 糸井川栄一, 梅本通孝, 東日本大震災における津波火災の消火活動実態, 平成24年度日本火災学会研究発表会概要集, 日本火災学会, 査読無, 120-123, 2012.5
- ③天笠雅章, 糸井川栄一, 東北地方太平洋沖地震後の津波に起因した宮城県石巻市門脇町における火災事例研究, 地域安全学会梗概集 No.29, 地域安全学会, 査読無, 2011.11, 25-28
- ④Eiichi ITOIGAWA, STRATEGIC FIRE-FIGHTING OPERATION TO MITIGATE FIRE DAMAGE RISK IN A NEAR-FIELD EARTHQUAKE IN THE METROPOLIS OF TOKYO -ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE TIMING OF THE SWITCH TO FIREFIGHTING OPERATION AND DAMAGE REDUCTION-, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 査読無, 2011.3, 1647-1654
- ⑤本田航, 糸井川栄一, 梅本通孝, 信頼性解析技法を用いた消防活動時の事故未然防止に関する研究—残火処理を対象に—, 火災学会論文集, 日本火災学会, 第61巻 第1号, 査読有, 2011.4, 1-10
- ⑥木村雄介, 糸井川栄一, 梅本通孝, 地震火災による広域避難時被災リスクから見た市街の火災安全水準に関する研究, 地域安全学会論文集 No.13, 地域安全学会, 査読有, 2010.11, 119-129

[学会発表] (計2件)

- ①糸井川栄一, 避難とは何か, 日本建築学会大会(東海)防火部門パネルディスカッション「広域避難計画を再考する」, 2012.9.11,

名古屋大学

- ②幸晋之介, 糸井川栄一, 梅本通孝, 大規模建築物の自衛消防活動におけるヒューマンエラーの要因分析」, 安全工学シンポジウム 2012(日本学術会議総合工学委員会主催), 2012.7.5, 日本学術会議

6. 研究組織

(1)研究代表者

糸井川 栄一 (ITOIGAWA EIICHI)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 80334027