

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19310104

研究課題名（和文）市街地火災安全基準の性能規定化に関する数理的研究

研究課題名（英文）Mathematical approach to performance specifications of fire safety in an urban area

研究代表者

系井川 栄一（ITOIGAWA EIICHI）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：80334027

研究成果の概要（和文）：本研究は、市街地火災安全基準の性能規定化を目指すために必要な基礎的条件を整理し、数理的アプローチによる防火性能評価手法の提案を行うことを目的とするものである。主たる研究成果としては、(1)市街地火災安全性の変遷とその要因を分析したこと、(2)市街地火災の根本的な原因の一つである地震時出火に対する対策効果に関して数理的に評価したこと、(3)地震時火災時の広域避難計画について現行の避難計画の改善を図る数理的計画手法を提案したこと、(4)広域避難安全性確保から見た市街地の延焼危険性に要請されるレベル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 identify the dominant factors for evaluating the level of fire safety in urban area from performance specifications point of view, and to make a proposal for evaluating the safety level based on mathematical approach. Principal results of this study are as follows; (1)to analyze the transition of the level of fire safety and its dominant factors, (2)to develop the evaluation model of fire breakout after a big earthquake and to evaluate the countermeasure against fire breakouts, (3)to propose the method of the new wide area evacuation plan from post-earthquake fire, (4)required safety level of urban fire from securing safety level of wide area evacuation from post-earthquake fire.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2008年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2009年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

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：都市・社会防災 市街地火災 地震火災 性能規定化 延焼速度 広域避難

1. 研究開始当初の背景

建築物の火災安全性評価は、2000年6月に施行された改正建築基準法施行によって、性能規定化と評価プロセスの透明化を指向している。ところがその一方で、建築基準法の

防火に関する集団規定は従来とほとんど変更がなく、この点に関する基準等の合理化や、性能評価に基づく設計方法は積み残されている。

しかしながら、阪神・淡路大震災の事例に

象徴されるように、我が国の市街地に一般に広く分布する木造住宅密集地域が、耐震性に対しても防火性に対しても大きな問題となっているとともに、このような木造住宅密集地域の多くが都市計画法の地域地区として定める防火地域指定上の準防火地域にあるという事実も、木造密集地域の火災安全性の議論における地域制ならびに具体的技術基準である防火に集団規定のあり方を問うている状況にある。

2. 研究の目的

以上の観点から、本研究は、市街地火災安全基準の性能規定化を目指すために必要な基礎的条件を整理し、数理的アプローチによる防火性能評価手法の提案を行うことを目的とするものである。

3. 研究の方法

地震時の市街地火災リスクを数理的に扱うために、リスク要因を、(1)延焼拡大に伴う物的被害リスク、(2)延焼拡大によって余儀なくされる広域避難時の避難リスク（火災に巻き込まれ避難不能となる可能性）、の2点に注目する。これらのリスクを定量的に分析するため、(a)地震出火の発生メカニズム、(b)出火後の延焼拡大メカニズム、(c)消防力運用による延焼拡大抑止メカニズム、(d)市街地火災からの広域避難の行動メカニズム、等を数理的に記述し、これらのモデルを用いて、主としてコンピュータシミュレーションを行うことにより、上記の(1)延焼拡大に伴う物的被害リスク、ならびに(2)延焼拡大によって余儀なくされる広域避難時の避難リスク、を評価しその結果から、市街地の延焼危険性に要請されるレベルを明らかにする。

4. 研究成果

(1)市街地火災安全性の変遷とその要因分析

①分析の方法

地域に固有の市街地火災に対する特性は、用途地域指定に代表される都市計画的要因や社会経済的要因等、様々な要素によって規定されている。これらのうち、どのような要因が市街地の変容に影響を及ぼし、市街地の防火性能を変えているのかを把握することは市街地防火対策上重要な視点である。以上の観点から、ここでは、市街地の延焼危険性に影響を与えている要因を把握し、今後市街地火災を低減させていく対策を講ずる上での一助とする。

東京消防庁が概ね5年ごとに行っている市街地状況調査から最新の第7回のデータを用いて、延焼危険性を表す指標である不燃領域率及びセミグロスCVFを算出した。また、東京都が整備している「東京都都市計画地理情報システム」を用いて町丁目単位で用途地域

の占める割合をそれぞれ求めた。

以上、3つの指標を元に延焼危険性が高い地域を抽出した。各指標の選定基準は以下の通りである。3つ全ての基準を満たす地域を抽出した。

- ・不燃領域率：70%未満
- ・セミグロスCVF：0.55以上
- ・住居系+近隣商業地域に指定された面積の占める割合が50%以上

この結果、特別区では3130の町丁目（第7回市街地状況調査による）の中から608、多摩地区では1993の町丁目（第7回市街地状況調査による）の中から425の町丁目抽出された。

抽出した地域を対象として、延焼危険性を表す指標である不燃領域率を増加、減少の2種類に分類して分析を行う。不燃領域率が増加あるいは減少と要因分析の方法としては判別分析を用いた。

②分析結果と延焼危険性増大抑止の対策

a)特別区に関する分析

不燃領域率の増減を規定する要因として、第一種及び第二種低層住居専用地域指定割合、防火地域指定割合、人口密度が抽出された。これらの指標を基に市街地の変容に関して分析を行った結果、空地への宅地化による不燃領域の減少、また敷地の細分化により可燃構造の戸建て住宅が密集してきていることが予想され、その要因として第一種及び第二種低層住居専用地域に指定されている面積の割合が高い可能性が示唆された。

b)多摩地区に関する分析

不燃領域率の増減を規定する要因として、第一種及び第二種中高層住居専用地域指定割合、近隣商業地域割合、準防火地域指定割合が抽出された。これらの指標を基に市街地の変容に関して分析を行った結果、未開発地への戸建て住宅のミニ開発進行による不燃面積の減少が予想された。その要因として第一種及び第二種低層住居専用地域に指定された面積の割合が相対的に高いことが、また建物の不燃化が進まない要因として準防火地域に指定された面積の割合が相対的に低い可能性が示唆された。

c)延焼危険性増加を抑止するための対策

不燃領域率が増加している地域についての仮説についても同様に分析を行った結果、特別区では防火地域の指定状況及び人口密度の高さとの関係が示された。人口密度の高さは集合住宅の数と関係すると考えられ、集合住宅は耐火構造であることから、住宅地における集合住宅の建設推進によって高度利用と共に不燃化を実現することが考えられる。しかしながら、一方で人口減少時代において既存戸建て住宅地の高度利用化には問題点も多い。特別区においては、戸建て住宅の建設に対して一定の構造的制約をより積

極的に課し、可燃建築物の密集化を避けることが重要な視点となろう。

多摩地区では、第一種及び第二種中高層住居専用地域、近隣商業地域、準防火地域の指定状況との関係が示された。ほぼ全域が防火地域もしくは準防火地域に指定されている特別区と比較すると、多摩地区は未だ無指定である地域が多く残存している。そのような地域において近年住宅の開発が進行していることから、準防火地域の指定のみによって防火造等の可燃性の戸建て住宅の建設を抑制することは難しいが、市街地は戸建て住宅のみで成立しているわけではなく、今後多摩地区については、開発が予定されている区域に対して事前に準防火地域指定を行い、一定規模以上の建築物の防火性能を確保するとともに、併せて戸建て住宅への構造的制約を課すなどの検討も含めて、一定の防火性能を有した建築物の建設を図っていくことが、木造密集市街地の再生産を防止する上で重要である。

(2) 地震時出火に対する対策効果の分析

① 分析の方法

ここでは、地震火災時の安全性確保の主要な要因の一つである地震時出火に着目し、在宅・不在の状況が単純な単身世帯の典型例である大学生・大学院生を対象として在宅状況を考慮した出火率を算出することによって、その出火可能性を把握するとともに、在宅・不在それぞれにおける出火可能性を比較して、生活パターンが出火可能性に及ぼす影響を明らかにする。これによって、在宅状況に応じた効果的な出火防止対策を提案する。

東京消防庁の地震時出火危険度算定法に代表される既存の出火率算定法は、家人や従業員等の在宅を前提として建物用途や地域ごとの出火危険性を算定したものであり、在宅状況を考慮して評価を行っているわけではない。今後、現代の生活様式を反映した、より多様な生活パターンに対応した地震時出火可能性を評価するためには、既存の方法に加え在宅状況を考慮した地震時出火危険性を評価する必要があるため、本研究では、在宅状況を考慮した出火確率算定法を新たに開発し、これを用いて分析を行った。

② 在宅状況および器具の所有・使用状況調査

在宅状況を考慮した器具の出火確率や住宅の出火件数期待値を算出するには、器具の所有・使用状況や在宅状況等を調査する必要がある。そこで本研究では筑波大学生を対象としたアンケート調査を行い、その在宅率や器具の使用率を求め、出火率算出に用いることとした。また、各器具の外出時・不使用時の取扱状況や、地震・火事に対する日頃の備えについてもあわせて調査し、火気放置状況や止火行動についての実態を把握、分析した。

③ 分析結果と効果的な出火防止対策を提案

a) 在宅状況を考慮した新しい出火率算出方法の提案

本研究では既存の出火率算出方法に新たに在宅率というパラメータを加えることにより、在宅状況を考慮した出火率算出方法を構築することにより、火災発生に大きく影響する人々の行動パターンのうちその在宅状況に応じた出火率の算出が可能となった。

b) 単身学生を対象としたアンケート調査結果

筑波大学生を対象として、火気・電気器具の使用・所有状況および在宅状況についてアンケート調査を行った。火気・電気器具の取扱状況では多くの学生が外出時・不使用時にスイッチを切るという行動をとっていると回答したが、実際にはそのように回答していても不在時の使用者が各器具でみられるなど、徹底されていないということが明らかとなった。

c) 筑波大学生の住まいにおける地震時の出火率・出火件数期待値

使用状況、所有状況によって違いがみられたが、器具によっては不在使用者の多い時間帯で不在時の出火率が占める割合が高いものもあった。出火戸数でみると、震度7の地震が発生したとき、冬の夜間で暖房器具の使用状況が影響し、1万戸に5戸以上という非常に高い割合で出火する可能性があるということが判明した。

d) 地震時出火防止対策とその効果の評価

本研究では5つの出火防止対策を提案し、その対策効果を算出した。家具の転倒防止対策の一部で低減効果がみられないものもあったが、それらを除いたすべての対策でその効果が得られることが判明した。特に、安全性の高い器具の使用を促し、全員が安全性の高い器具を使用すれば、震度によって80%~100%ほどの高い低減効果が期待できることを明らかにした。暖房器具を集中冷暖房として管理することも同程度に効果的である。

(3) 地震時火災時の新たな広域避難計画提案

① 分析の方法

東京都地域危険度測定調査の評価項目には、建物倒壊危険度、火災危険度とらんで避難危険度が挙げられている。この東京都による避難危険度の算定は、地域の空間特性と人口分布等を考慮しているという意味で重要な手法であるが、たとえば一町丁目にひとつの避難場所を指定して評価したり、避難経路上の火災（出火・延焼）リスクを十分に考慮した避難割り当てにはなっていないなど、いくつかの課題も残されている。ここでは、これらの課題を可能な限り解消して避難リスクの軽減を図るための広域避難計画（避難場所の割り当てならびに避難経路の割り当て）を策定するために、避難経路上の火災（出

火・延焼) リスクが避難リスクに及ぼす影響を明示的に評価する新たな手法を提案し、この手法を具体の地域に対して適用することで、広域避難計画策定の可能性について検討する。

②出火・延焼リスクを考慮した避難危険評価

本研究では、定量的な避難リスクの評価ができるように、地震後に発生する市街地火災の延焼領域に巻き込まれることなく、避難場所まで避難する可能性を目的関数として、これを最大化することを実現する避難経路を選択するモデルを開発した。さらに、この考え方を応用することにより、対象領域全体の広域避難場所までの避難到達確率を最大化を実現する避難圏域割り当てにも言及できるモデルを開発した。

③提案モデルに基づく試算結果

東京都の一區程度の大きさを対象として提案モデルを適用した結果、多数の町丁目において最短経路を用いて避難するよりも提案手法の適用の結果得られた結論のように、多少の回り道をしてでも火災・延焼の危険度の高い地域の通過を避けた方が避難時に火災に巻き込まれる確率が低くなることが判明した。

また、提案した避難経路選択手法を用いて無事に避難場所まで到着できる住民の数の期待値を最大とするように目的関数を設定して避難場所の割り当て手法を線形計画法を用いて算出し、従来手法と提案手法とで大田区における避難可能人数の期待値を比較した。その結果、従来手法と比べて、本提案手法を用いることで大田区全体における避難可能人数期待値の大幅な増加がみられた。

以上の結果より、本研究で提案した震災発生時における出火・延焼リスクを考慮に入れた新たなリスク評価指標を用いることにより、避難時に住民が火災に巻き込まれるリスクを軽減するような経路選択及び避難場所の割り当てが可能となった。

(4) 広域避難安全性確保から見た市街地が学補すべき火災安全性のレベル

①分析の方法

ここでは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被災可能性を定量的に評価することによって、広域避難の観点から見た市街地の確保すべき火災に対する安全水準について考察を行うことにより、準防火地域が確保すべき地震火災に対する安全性検討のための基礎的知見を得る

②避難シミュレーションモデルの構築

広域避難の観点からリスク評価を行うため、前述の(3)のような政策的モデルではな

く、避難者の行動を記述する行動記述モデルに基づく避難シミュレーションモデルを開発した。このモデルは、対象領域の各地域の特性を表現する 250m×250m のメッシュによる市街地において、避難者の行動を記述するものであり、出火・延焼拡大サブモデルと避難行動サブモデルにより構成される。

出火・延焼拡大サブモデルでは、出火件数、場所、時刻を設定し、避難行動サブモデルでは、出火・延焼拡大サブモデルによって計算される延焼拡大の状況に応じて、避難者の行動をシミュレートする。最終的に広域避難場所にたどり着く確率や、延焼面積など避難行動に影響を及ぼす火災関係指標の算出する。

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。

③分析結果と市街地火災安全性向上対策

a) 分析結果

シミュレーション実験の結果、得られた知見は下記の通りである。

- ・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。
- ・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、全域を少しず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。
- ・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。

b) 市街地火災安全性向上対策

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は火災が発生している経路の選択機会を減少させることから被災可能性の大幅な改善が期待できる。したがって、出火対策がなされている器具への買い換えを促進することは広域避難という観点からも好ましい。
- ・群集密度の緩和は歩行速度の円滑化を促し、火災発生地域通行時の経路変更可能性を減少させる可能性があることより、避難道路の増設や適切な誘導方策の検討が重要

である。

- ・火災状況に応じた速やかな避難開始は、火災による危険性が顕在化する前の避難を可能とすることから、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。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ①木村雄介, 糸井川栄一, 市街地における延焼危険性の増加要因に関する研究, 地域安全学会論文集 No. 10, 査読有, pp. 21-29, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007152118>
- ②豊田早苗, 糸井川栄一, 在宅状況が地震時の出火可能性に及ぼす影響に関する研究～単身学生世帯における地震時出火確率算定の適用～, 地域安全学会論文集 No. 10, 査読有, pp. 583-590, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007152124>
- ③三好孝典, 松下義男, 橋本済, 糸井川栄一, 村尾修, 出火・延焼のリスクを考慮した広域避難計画に関する研究, 地域安全学会論文集 No. 10, 査読有, pp. 105-112, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007152100>
- ④田口元寿, 糸井川栄一, 熊谷良雄, 首都直下地震における火災被害リスク低減のための戦略的な消防力運用に関する研究－消防力運用方法の切替え時期と被害軽減効果の分析－, 地域安全学会論文集 No. 10, 査読有, pp. 113-123, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007152098>
- ⑤鎌田智之, 糸井川栄一, マルチエージェントモデルによる介護保険施設における火災時の避難誘導に関する研究, 地域安全学会論文集 No. 10, 査読有, pp. 183-193, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007152082>
- ⑥武末裕樹, 鈴木勉, 糸井川栄一, 震火災リスクを考慮した避難危険性の評価に関する研究, 都市計画学会論文集 No. 43-3, 査読有, pp. 25-30, 2008. 11
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40016332092>

[学会発表] (計2件)

- ①糸井川栄一, 地震火災の延焼予測, 第2回「都市地震災害マネジメント」ミニシンポジウム, 2009. 6. 11, 東京工業大学
- ②加藤孝明, 糸井川栄一, 地震火災の延焼危険性評価と対策課題, 安全工学シンポジウム 2008, 2008. 7. 11, 日本学術会議 会議室・東京都港区六本木

[図書] (計1件)

- ①鈴木勉, 稲垣敏之, 宮本定明, 金野秀敏,

岡本栄司, 内山洋司, 糸井川栄一, コロナ社, リスク工学シリーズ2「リスク工学概論」, 2009. 5, pp. 120-141

[その他]

ホームページ等

<http://www.udmlab.risk.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

糸井川 栄一 (ITOIGAWA EIICHI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 80334027

(2) 研究分担者

加藤 孝明 (KATO TAKAAKI)

東京大学大学院工学系研究科・助教

研究者番号: 30251375

(3) 連携研究者

なし