

震災時の延焼火災に備える水源確保と消火可能範囲に関する研究 —伝統的木密地域を有する京都市上京区を対象として—

Study on Water Resources Used Against Widespread Fire After Earthquakes and Study on Effective Range of Fire Fighting Activities at an Earthquake – Case Study of Traditional High-Densitized Urban Areas in Kamigyō-ku, Kyoto –

松本昂大¹・大窪健之²・金度源³

Kodai Matsumoto, Takeyuki Okubo and Downon Kim

¹立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

²立命館大学教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil and Environmental Engineering

³立命館大学准教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil and Environmental Engineering

The purpose of this study is to evaluate the possibility of widespread fire because of destruction of fire-hydrants and roadblocks on narrow roads, so there were wide range of fire at the Great Hanshin-Awaji Earthquake. There are a large number of wooden buildings and numerous narrow roads in the city of Kyoto. The fact was shown in order to proceed following steps that calculating the amount of fluid flowing in a river and making the effective range of fire extinguishing considering these obstructions against fire-fighting and natural water supply.

Keywords: earthquake, fire-fighting, water supply, extinguishing range

1. はじめに

(1) 研究の背景

阪神・淡路大震災では神戸市で地震後に火災が同時多発的に発生し、地震発生から1時間以上経った後も断続的に発生した。地震により水道管が破壊され、消火活動時に水道消火栓を使用できない状況に陥ったことも被害が拡大した要因とされている。河川、防火水槽、プール等の多様な水利を用いて、消火活動が行われた。防火水槽の中には周辺の建物倒壊や防火水槽自体が被害を受けたことで使用不可となったものや、水量に限界があるためすぐに水が尽きてしまうものもあった¹⁾²⁾。京都市は木造密集市街地が多く存在し、火災が発生した場合に、大規模な延焼火災に発展する危険性が高いと考えられる。京都市消防局では、震災消防水利計画³⁾が策定されている。この震災消防水利計画では[第1段階]市民が消火可能な段階、[第2段階] 公設消防および消防団による消火が必要となる数棟規模の段階、[第3段階] 街区火災～都市大火へ発展し路線防御が必要となる段階のうち第2段階を対象としている。そこで、第3段階の大規模延焼火災が発生した状況での消火活動が難しい範囲の把握が必要である。

(2) 研究の目的

大規模延焼火災時の消火活動が難しい範囲を示すために、消火が可能と考えられる範囲図（以下、消火可能範囲図）を作成する。まず無限水利である河川から取水し、長距離送水方法を用いた場合の消火可能範囲

図を作成する。そこから更に改善案として取水地点の条件に当てはまらない水源の改善や消防装備を拡大した場合での消火可能範囲図を作成し、効果を検証する。阪神・淡路大震災では被災地域において消火栓が使用不能であったこと、防火水槽は水量の限界はあるがそれぞれが独立しており消防水利として使用されたものもあることから、本研究は河川・防火水槽・ため池・プールを消防水利の水源と設定した。加えて地震により道路閉塞の可能性が低い幅員の広い道路だけを消火活動を行う事ができる経路と設定する。震災時の大規模延焼火災に対する消防水利計画へ知見を得ることを本研究の目的とする。

(3) 既往研究と本研究の位置づけ

これまで地震火災に対する消防水利の到達や、消防力低下となる地域の特定に関する既往研究は行われている。高山ら⁴⁾は、金沢市を対象として地震火災時の消防水利低下地域の評価を行っている。しかし、有効消火範囲を消防水利から円で表示しており、地震による道路閉塞状況が考慮されていない。中野ら⁵⁾は地震火災時の消防水利からの到達可能性の観点から、消防水利が不足する範囲の特定を行っている。しかし、ケーススタディ地区において、地震火災時に有効である河川等の無限水利が消防水利から除かれている。またメッシュ内の充足率での評価にとどまっている。

本研究の対象地区である上京区の消火可能範囲に関する既往研究として大窪ら⁶⁾は、阪神・淡路大震災の経験から消火栓が破壊された状況を想定し、プール・防火水槽・河川を消防水利とした場合の消火可能な範囲の算出を行っている。また、林ら⁷⁾は中藪ら⁸⁾の延焼シミュレーション結果を参考に、相対焼失リスクの特に高い地域を対象に、ホースブリッジや可搬消防ポンプを用いた場合の消火可能範囲の算出を行っている。しかしながら、大窪ら⁶⁾と林ら⁷⁾は、鴨川の取水地点が1か所のみであり、鴨川を有効な消防水利として考慮されていない点や道路幅員をGISソフト^{*1)}上での計測結果であるという点でさらなる精度の向上による改善が可能であると考えられる。

以上の課題を解決するために本研究では、道路閉塞の可能性が低い道路のみを経路とした消火可能範囲図の作成を行う。道路閉塞の判断要素である幅員のデータを、国土地理院の数値地図の道路中心線シェープファイル^{*2)}の属性データを用いることで精度を向上する。加えて無限水利である河川について、流量推定や道路からの接近可能な地点の現地で計測調査を行うことにより取水地点の増加を目指す。消防設備として消防ポンプ車だけでなく長距離送水車を考慮する。

2. 研究対象地域の延焼火災の危険性と消防水利について

京都市上京区を対象地域とした理由である地震火災の延焼危険性、次に上京区内にある消防水利についての合理的な選定理由とともに前提条件を示した。また、同じ上京区を対象地域とした既往研究との消防水利数についての違いを示す。

(1) 対象地域の地震時の大規模延焼火災の危険性

京都市第3次地震被害想定⁹⁾では、異なる断層の地震での被害予測が行われている。その中で、火災被害が大きいと予測されている花折断層地震（想定マグニチュード7.5、左京区・東山区・北区・上京区・中京区・下京区・山科区の一部に震度7地域が出現）に着目した。花折断層は滋賀県今津町から京都市左京区を通る直線の断層である。冬18時に花折断層地震が発生した場合、上京区では8件の火災が発生すると予測されている。上京区の西側地域は、1km²あたり1.51件以上という高い出火危険度の予測がされている（図1）。

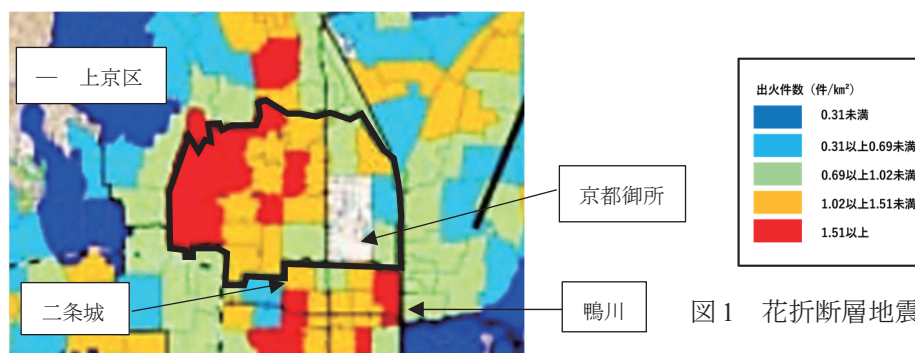


図1 花折断層地震での出火危険度予測⁹⁾

(2) 消防水利の基準

本研究では消防水利について「消防力の基準・消防水利の基準」¹⁰⁾を参考にする。「消防力の基準・消防水利の基準」において、消防水利として給水可能とする場合の水量の条件として、第3条第1項で常時貯水量が40m³または、連続で40分以上の1.0m³/分以上の取水ができることとされている。消防水利配置の特例として第5条では、第3条第1項の水量の10倍以上の水量と同時に5台以上の消防車が取水できる場合は、消防水利として有効であると定められている。また、消防水利の構造として第6条で消防水利の取水する際の条件が定められている。それによると地盤面からの落差が4.5m以内であり、取水する消防水利の水深が0.5m以上で、吸管の長さで消防水利の地盤面からの落差に応じた距離内に、消防ポンプ車が近づくことができることが条件として定められている。

(3) 対象地域での消防水利

上京区の東側に鴨川、中央に堀川、西側に天神川が流れている。図2に、本研究で消防車両が通行可能とする経路に接しているそれぞれの消防水利の取水可能地点の位置を示す。

a) 鴨川

大窪ら⁹⁾の研究から鴨川にかかる全ての橋から水面までの落差は7~8mということで「消防力の基準・消防水利の基準」第6条により、橋からの取水は困難であると判断した。そのため取水場所について現地調査を行い、取水地点を特定した。現地調査は2020年11月11日に、七条大橋から北山大橋までの左岸右岸併せて69カ所のスロープを調査した。次に取水地点と設定する基準として、ポンプ車や長距離送水車の寸法から幅員300cm以上、高さ360cm以上と設定する。取水地点とするスロープは、合計で13カ所と判明した。

b) 堀川

流量の常時観測は行われていないが、上流部にポンプがあり、京都市役所へのヒアリング調査^{*3)}の結果、数年前の記録ではあるが、ポンプの能力は3.0m³/分であることが分かった。消防水利設備として、消防ピットが設置されている。消防ピットとして利用できる連結桝は、紫明通で9箇所と堀川通りで9箇所あり、また今出川通から御池通までに合計8箇所の消防ピット設置場所がある。また、堀川の取水地点は26カ所と設定する。

c) 天神川

天神川は、上京区周辺の天神川の側道が5.5m未満の道路であったため、現状の消防水利での消火可能範囲の作成結果を示す第4章では取水地点を設定していない。しかし、消火可能範囲の拡大としての改善案とする第5章では、側道が5.5m以上とした場合での消火可能範囲の算出を行う。

d) その他の消防水利

本研究では河川以外の消防水利の抽出条件として5.5m以上の道路に接していることとした。大窪ら⁹⁾の研究で消防水利として設定されている防火水槽とプール、ため池の中から本研究での抽出条件を満たした防火水槽とプール、ため池のみを消防水利と設定した。

(4) 河川での長距離送水装備の使用の判断について

長距離送水車を使用できるかの判断は、河川の流量を判断の要因とした。流量はH-Q曲線^{*4)}と観測水位から求める。本研究では、唯一H-Q曲線のデータのある鴨川の流量を算出した。上京区周辺部の鴨川の水位観測所は、荒神橋地点に設置されている。まず、荒神橋地点のH-Q曲線と京都府河川防災情報水位一覧¹¹⁾より、荒神橋水位観測所で観測された水位観測値を用いて、1時間ごとの流量を推定する。次に、日平均流量を求めるため1時間ごとの流量を平均し、1日の平均流量を推定する。2019年12月~2020年11月の1年のデータを用いて、算出した湧水流量は41.4m³/分であった。湧水流量とは、年間を通じて355日を下回らない程度の流量値と定義されている¹²⁾。京都市消防局の都市水

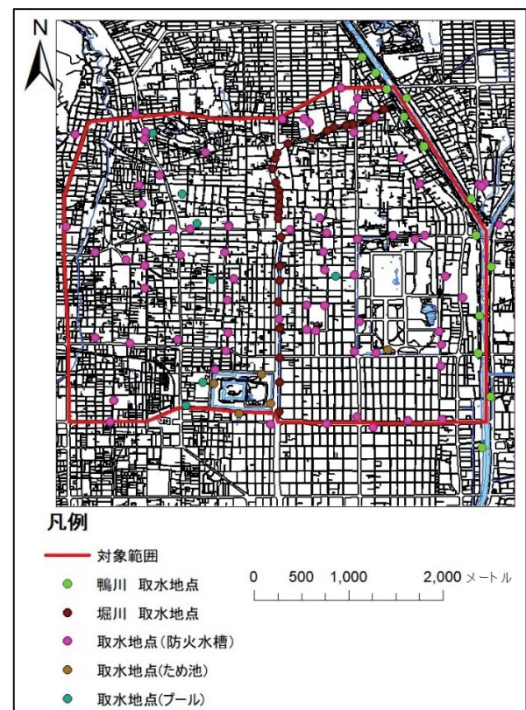


図2 設定した消防水利位置図

害対策車¹³⁾は2.0m³/分であることより、鴨川は常に長時間使用に十分な水源と確かめることができた。

3. 消火可能範囲の算出方法

消火可能範囲の算出には、GISソフト¹⁴⁾の到達圏解析機能を使用した。なお、本機能は設定した道路ネットワーク上を経路とし、取水地点から設定した距離に応じた到達範囲を示す。本研究では、国土地理院で発行されている数値地図を使用し、数値地図の道路中心線シェープファイルを道路ネットワークとする。

(1) 消火可能範囲の設定条件

数値地図では、道路中心線シェープファイルにリンクごとの道路幅員データが、属性値として設定されている。この道路幅員データを用いて、今泉ら¹⁴⁾の研究から地震後に通行可能な道路の幅員を5.5m以上とし、条件を満たす道路のみを消火可能範囲作成のための経路とした。また、消防車1台には、20mのホースが20本装備されており、すべてのホースをつなげた場合のホースの長さ400mであるため、消防車を用いた場合の最大到達距離を400mと設定する。長距離送水車の送水ホースの長さ、消防車の到達距離400mを加えた長さを長距離送水車を用いた場合の最大到達距離と設定する。

(2) 先行研究との比較

表1は、同じ上京区を対象としている先行研究である大窪ら⁶⁾との取水地点数の比較を表したものである。

河川・防火水槽・ため池・プールを取水地点とした消防ポンプ車（ホースの総延長：400m）の場合の消火可能範囲を示し、同様の到達圏解析を用いた大窪ら⁶⁾の消火可能範囲図（図3）との比較を行う。図4は、図3よりも空白の範囲が存在する。これは、道路幅員が5.5m未満の道路を除くことが出来ていることを表している。

表1 先行研究⁶⁾との比較

	先行研究	本研究
使用する道路中心線データ	オープンストリートマップ	数値地図
経路とする道路幅員	6m以上	5.5m以上
道路幅員データ	GISソフトウェア上での計測	数値地図に設定されている属性データ
消防水利の抽出範囲	対象範囲から1.5km以内	対象範囲内
鴨川の取水地点数	1カ所	13カ所
堀川の取水地点数	40カ所	26カ所
天神川の取水地点数	3カ所	0カ所
使用可能な防火水槽数	246カ所	73カ所
プールの取水地点数	24カ所	7カ所
ため池の取水地点数	7カ所	5カ所
合計の取水地点数	321カ所	125カ所

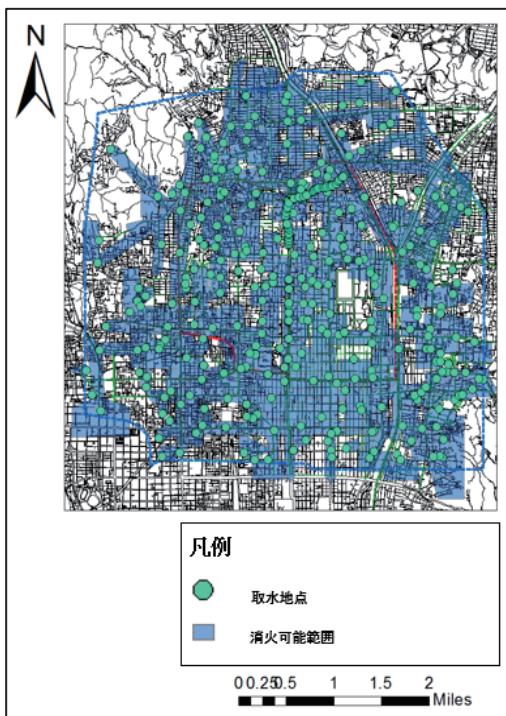


図3 先行研究の消火可能範囲図⁶⁾

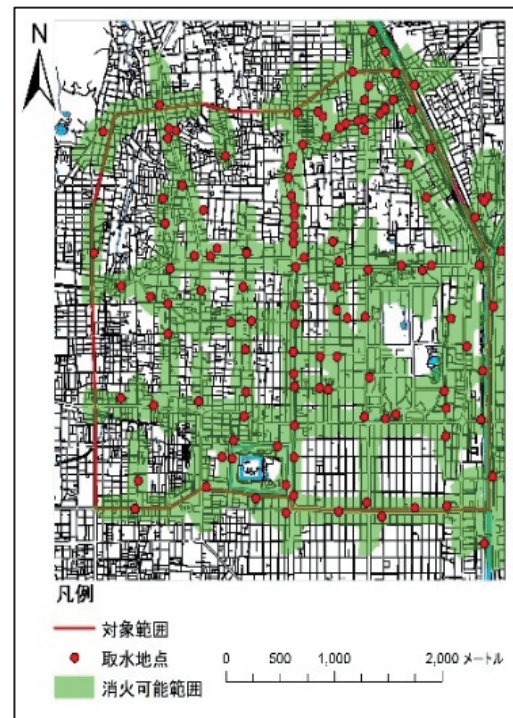


図4 全ての水利を用いた場合の消火可能範囲図

(3) 消火活動に用いる消防装備と水利の種類について

長時間・大量の消防用水が供給可能である河川から、まず既存の消防設備と消防水利を用いた異なる組み合わせでの消火可能範囲を考える。その結果から、次にできるだけ消火可能範囲外である空白を埋めるための改善方法として、複数の方法を考えた。例えば、長距離送水車の送水距離の拡大や、河川の取水地点でポンプ車や長距離送水車が取水できるように周辺の道路の幅員を拡大することである。

4. 既存の消防水利と装備を用いた結果

図4から防火水槽などの水利がすべて使用可能で水量が存在する状況下では、広範囲で消火活動ができることがわかった。しかし、大規模な延焼火災の消火活動では大量・長時間使用できる消防用水を必要とする。そこで、無限水利である河川のみを水源とする消火活動の際の消火可能範囲図を作成する。既存の消防水利と装備での消火活動として、2つの方法を用いた場合の消火可能範囲図の作成を行った。

(1) 消火活動方法

- a) 既存の消防水利を中継点に設定し、河川の水を用いる方法（1つの取水地点で最大5台のポンプ車を使用）
- b) 鴨川から京都市消防局にある都市型水害対策車を用いる方法

(2) それぞれの方法での結果

- a) 既存の消防水利を中継点に設定し、河川の水を用いる方法

河川の取水地点から、ポンプ車の消防ホース総延長400mの範囲内にある消防水利を次の中継地点とした中継送水方法による消火可能範囲図を作成した。高山ら⁴⁾を参考に、河川の取水地点の1つに消防車5台を使用とする。鴨川で中継送水を行った場合は、北側では5台分の中継送水が可能であったが、南側は中継点となる防火水槽などの他の消防水利がなく、消火可能範囲は河川に沿った範囲のみだけであった(図5)。一方、堀川で中継送水を行った場合、堀川東側には消火可能範囲の拡大が見られたが、西側に範囲の拡大は見られなかった(図6)。

- b) 鴨川から京都市消防局にある都市型水害対策車を用いる方法

本研究で常時十分な水量があり、長距離送水車が接近可能であると明らかとなった鴨川を水源とする。使用する長距離送水車は、京都市消防局にある都市型水害対策車¹³⁾（送水ホース長さ：1.0km）である。よってホースの到達距離は消防車両のホースの400mを加えた1.4kmである。図5、図6に比べて範囲は拡大したが、堀川のある対象地域の中央までは届いておらず、都市型水害対策車では対象地域に対しての範囲は狭いことが分かる(図7)。

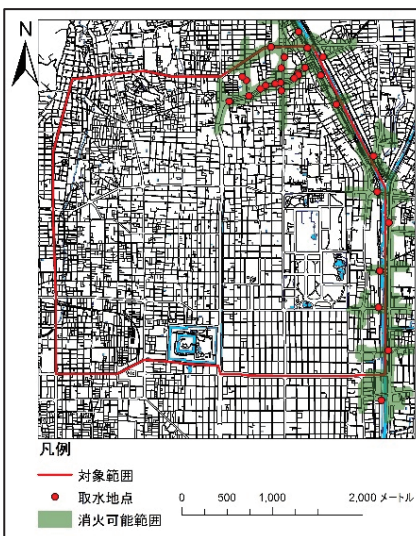


図5 鴨川の中継送水での消火可能範囲図

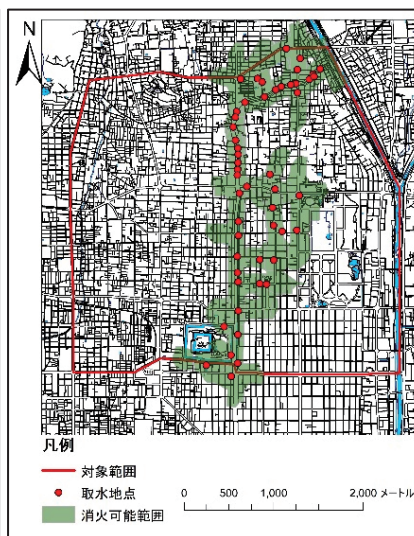


図6 堀川の中継送水での消火可能範囲図

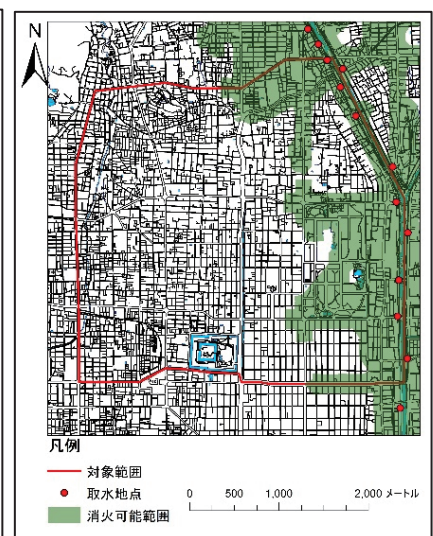


図7 都市型水害対策車の消火可能範囲図

5. 消火可能範囲の拡大のための改善案と結果

第4章の消火可能範囲図の結果から既存の消防水利と装備の方法では、長時間の消火活動の有効範囲が対象地域に狭いことが明らかとなった。そこで消火可能範囲の拡大のための改善案として3つの消火活動方法を考えた。

(1) 消火活動方法

- a) 堀川で京都市消防局にある都市型水害対策車を用いる方法
- b) 都市型水害対策車より長い送水ホースの長距離送水車を用いる方法
- c) 天神川の側道の幅員を拡大し、天神川を消防水利とする方法

(2) それぞれの方法での結果

a) 堀川で京都市消防局にある都市型水害対策車を用いる方法

既存の消防装備での中継送水による消火可能範囲が限定的であったため、堀川が都市型水害対策車を用いるのに十分な流量がある場合の消火可能範囲を算出した。図8から堀川が長距離送水車を使用できた場合、既存の消防水利と装備での範囲に比べて範囲が広く、大規模な延焼火災に対して十分有効な方法であることが明らかとなった。

b) 都市型水害対策車より長い送水ホースの長距離送水車の用いる方法

都市水害対策車よりも消火可能範囲を拡大する方法として、長距離送水装備に着目した。横浜市消防局¹⁵⁾と東京消防庁¹⁶⁾のそれぞれの長距離送水装備を参考にした。横浜市消防局と東京消防庁のそれぞれの長距離送水装備は、1.8kmと2.0kmである。ホースの到達距離は、消防車両のホースの400mを加えた2.0kmと2.4kmである。図9、図10から、京都市の都市型水害対策車では、対応することが難しい中央部から東側をおおよそ対応が可能であることが分かる。

c) 天神川の側道の幅員を拡大し、天神川を消防水利とする場合

本研究では天神川を取水地点としていないため、西側が消火可能範囲外となっている。そのため対象地域の西側で消火可能範囲を拡大する方法として、大窪ら⁹⁾の天神川の取水地点周辺の道路を5.5m以上の道路に広がった場合を考えた。図11は、ポンプ車のホース400mの場合を示し、図12は、京都市消防局の都市型水害対策車¹³⁾の1.0km（到達距離：1.4km）の場合を示した。これまでの既存の方法と改善方法では、天神川付近が消火可能範囲外であるため、この改善方法は効果が十分にあることが分かる。



図8 堀川で都市型水害対策車の消火可能範囲図

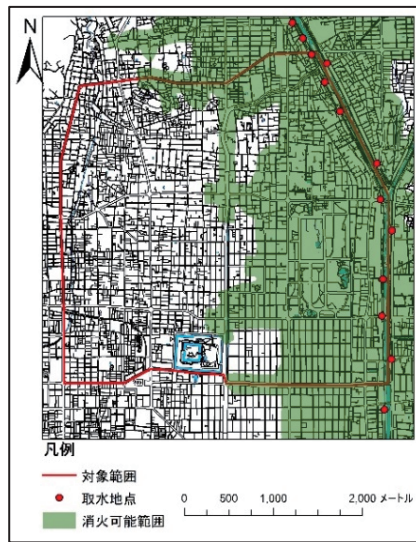


図9 長距離送水ホース1.8kmの消火可能範囲図

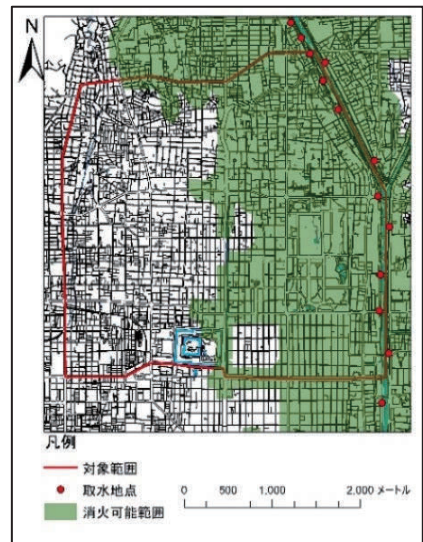


図10 長距離送水ホース2.0kmの消火可能範囲図

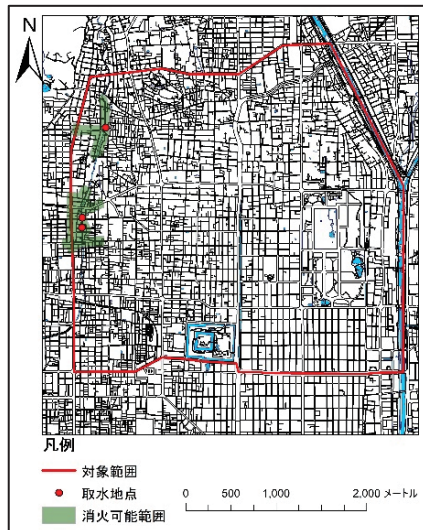


図 11 長さ 400m の
ホースの消火可能範囲図



図 12 都市型水害対策車
を用いた消火可能範囲図

6. おわりに

(1) 研究の成果

a) 消火可能範囲の作成方法

消火可能範囲を取水地点から円を用いて表すのではなく、GISソフトの到達圏解析を用いることで道路閉塞発生割合が低いと考えられる幅員の広い道路のみを経路とした場合の消火可能範囲を示すことが出来ることを明らかにした。このことにより消防水利の到達可能性と消火可能範囲を同時に考慮した評価ができた。

b) 設定した現状の消防水利と消防設備での評価

河川・防火水槽・ため池・プールから消防車を用いた場合の消火可能範囲では広範囲であり、地震後一定時間は消火活動が行えることが分かった。しかし、火災が大規模になり長時間に大量の水が必要な場合は、消防水利を中継点とした河川からの中継送水方法や鴨川からの都市型水害対策車を用いる方法では、消火可能範囲が限定的であり消火活動のための水量が不足する恐れがあるということが分かった。

c) 消火可能範囲の拡大のための改善案とその効果の算出

堀川で京都市消防局の都市型水害対策車を用いた消火可能範囲図や、京都市消防局の都市水害対策車よりも送水距離がさらに長い長距離送水装備の消火可能範囲図、天神川の取水地点とした消火可能範囲を作成した。この範囲図から改善案として挙げたこれらの方法は有効であると考えられる。しかし、実現する上での課題は大きいと考える。

(2) 今後の課題

a) 交通状況を考慮した消火可能範囲の算出

本研究で調査した取水可能な位置からの消火可能範囲図を作成することで、地震時の大規模延焼火災の消火活動が難しい範囲を求めた。しかし、消火可能範囲の大きさに影響を及ぼす要因は道路幅員だけではなく、交通渋滞などの交通状況や道路の被害状況が考えられる。そのためより正確な消火可能範囲図の作成のためには、交通状況の要因を考慮することが必要であると考えられる。

b) 改善案の実現可能性の評価

本研究では消火可能範囲を拡大させるための改善案として、3つの消火活動方法を挙げた。これらの改善案を行った場合に消火可能範囲の拡大が見られたが、実現可能性の検討が不十分である。改善案を実施するための費用を算出することで、費用と効果の関係性から改善案の評価する必要があると考えられる。

謝辞：堀川などの京都市の河川について京都市役所・藤井豊様、小田宏一様、服部泰典様、鴨川や天神川について京都府京都土木事務所・内田信行様、四方幸伸様、中川裕司様、消防水利や消防活動、消防計画につ

いて京都市消防局・藤本雅一様、奥村展弥様、ヒアリング調査や現地調査について明日の京都文化遺産プラットフォーム・安田勝様、山田信祐様から貴重な御助言を頂きました。ここに記して、これらの方々への感謝の意に代えさせていただきます。また、本研究は2020年度立命館大学・研究推進プログラム（科研費獲得推進型）の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

注釈

- *1) GISソフトとしてESRI社のArc GISを用いた。
- *2) シェープファイルとは、GISソフトを使用するフォーマットのひとつである。
- *3) ヒアリング調査は2020年9月上旬に京都市役所で回答を得た。主に京都市の河川や堀川について聞き取りを行った。
- *4) H-Q曲線とは、水位と流量の観測値から得られた水位と流量の関係を表すグラフである。

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災教訓情報資料集 1-01 【04】 火災の発生と延焼拡大, 内閣府 防災情報のページ, http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/detail/1-5-3.html (2021.12.15 閲覧)
- 2) 阪神・淡路大震災教訓情報資料集 1-05 【03】 消防設備・資機材と消防水利の確保, 内閣府 防災情報のページ, http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/detail/1-5-3.html (2021.12.15 閲覧)
- 3) 京都市消防局震災消防水利整備計画, 京都市消防局, 2004.
- 4) 高山純一, 飯坂貴宏: 大震時同時多発型火災を想定した消防力低下地域の評価と消防水利に関する研究～金沢市を事例に～, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.235-244, 1998.
- 5) 中野孝雄, 熊谷良雄: 震災時における消防水利の到達可能性評価手法に関する研究, 日本火災学会論文集, Vol.54, No.2, pp.25-37, 2004.
- 6) 大窪健之, 内藤翔, 金度源: 歴史都市における地震時の延焼火災対策: 京都市上京区周辺の防災水利評価, 日本火災学会誌 (特集 文化財防災に関する特集), Vol.68, No.5, pp.14-19, 2018.
- 7) 林航平: 地震火災時の消防水利へのアクセス性に関する研究—京都市上京区の密集市街地への提案—, 卒業論文
- 8) 中藪知孝, 大窪健之, 樋本圭佑, 田中哮義, 中村琢巳: 市街地における歴史的建造物の地震火災による焼失リスク評価～京都市上京区周辺エリアを対象として～, 歴史都市防災論文集, Vol.5, pp.111-116, 2011.
- 9) 京都市第3次地震被害想定, 被害想定結果, 京都市情報館, <https://www.city.kyoto.lg.jp/gyozai/page/0000015600.html> (2020.6.1 閲覧)
- 10) 消防力の基礎研究会: 逐条問答消防力の基準・消防水利の基準 (第三次改訂版) , ぎょうせい, 2000.
- 11) 河川防災情報水位一覧表, 京都市, <http://chisuibousai.pref.kyoto.jp/main.html?fnm=openMap&no=2&no2=0> (2020.9.5 閲覧)
- 12) 水利使用許可の判断基準, 国土交通省, <https://www.mlit.go.jp/river/riyou/main/suiriken/kyoka/index.html> (2020.12.7 閲覧)
- 13) 都市型水害対策車, 京都市消防局, <https://www.city.kyoto.lg.jp/shobo/page/0000204811.html> (2021.1.20 閲覧)
- 14) 今泉恭一, 浅見泰司: 震災時の道路閉塞推定に関する研究 - 防災街づくりのための密集住宅市街地整備方策の定量的比較分析 -, 日本建築学会計画系論文集, No.529, pp.225-231, 2000.
- 15) 遠距離送水車 (起動消防車) ホース延長車, 横浜市, <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/bousai-kyukyu-bohan/shobo/shokainado/sharyo/tokubetsu/20140513170528.html> (2021.1.5 閲覧)
- 16) 遠距離大量送水装備 (送水車・ホース延長車) , 東京消防庁, https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/ts/soubi/car/04_05.html (2021.1.5 閲覧)