

バケツリレーによる消火活動の可能範囲とその算定方法 に関する研究～京都市内におけるケーススタディを通して～ Evaluating Method for the Fire Fighting Ability of Bucket Relay

○大城 ゆりか¹, 金 度源¹, 大窪 健之², 林 倫子²
Yurika OSHIRO¹, Dowon KIM¹, Takeyuki OKUBO² and Michiko HAYASHI²

¹立命館大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²立命館大学理工学部

Department of Science and Engineering, Ritsumeikan University

When earthquake occurs, these are a lot of big fire on several place at the same time, so the every fire fighter cannot handle every fire. Therefore, the local communities including residents are need to check the spread of fire for bucket relay etc. . This paper proposes methods for estimating radius of fire fighting with bucket relay. On the basis of the case study, each local communities' ability to extinguish in the four region in Kyoto has been assessed by assigning bucket relay's radius of extinguishing.

Keywords : bucket relay, post-earthquake fire, fire fighting activity, estimation methods

1. 研究の背景と目的

1995年1月17日の阪神・淡路大震災においては、公設消防力を上回るほど火災が同時多発し、道路閉塞や消火栓・防火水槽の被災などにより、公設消防機関の消火活動が阻害された¹⁾²⁾。その結果、初期段階で消火できなかった火災が市街地に広がり、延焼火災となって被害が拡大した。このようなことは今後も起こりうることであり、被害の拡大を最小限に食い止めるためには、地震発生直後(約5分以内)の「市民の自主的消火対策」が重要である²⁾と指摘されている。

阪神・淡路大震災の際、一部の地区では市民による懸命の消火・延焼防止活動が行われた。例えば、神戸市長田区西代市場などでは住民によるバケツリレーが行われ、被害軽減に貢献している³⁾。このように、住民による消火活動のなかでバケツリレーは一定の成果をあげることができたと考えられる。

鳥山ら⁴⁾⁵⁾は、効果的なバケツリレーを提案するために、バケツリレーの行動を定量的に評価し、効果的な人員配分を検討した。しかし、バケツリレーによってどの程度の範囲で消火が可能であるかを明らかにした研究は見当たらず、市街地でバケツリレーを実施した場合の有効性の評価方法は明らかにされていないのが現状である。そこで本研究では、市街地におけるバケツリレーによって初期消火活動が可能範囲の算定方法を検討する。また、その算定方法を用いて具体的な地域を対象にケーススタディを行い、各地区でのバケツリレーの有効性を評価する。

2. 研究の方法

本研究では、初期消火の要件とバケツリレーの能力、地域特性(人口密度・年代別人口構成率・地震による死傷者数等)などのデータを用いて、住民による初期消火活動の可能範囲を算定する方法を検討する。また、川やプールなどの水源がバケツリレーの水源として機能する上で必要な条件を明らかにする。ケーススタディを通して、バケツリレーによる初期消火活動を実施する上での

課題点を明らかにするとともに、本研究の成果を確認する。なお本研究では、地震発生直後の火災に対し行うバケツリレーを評価の対象とするため、水道管・電力施設の被害による断水や停電を考慮し、消火栓や水道、電動ポンプ等は使用できないものと仮定する。またバケツリレーにおいて必要な要素は「水源」、「バケツリレー実施者」、「バケツ」である⁵⁾が、このうちバケツに関しては十分に供給されるものと仮定して検討を行った^{補注1)}。

3. 初期消火活動の可能範囲と水源

(1)初期消火の要件とバケツリレーの能力

住民による初期消火活動においては、「火災の発生を早期(出火後約2~5分位)に覚知し、速やかに消火活動を行う」、「消火水量は、0.1m³/分以上にする」ということが必要である²⁾とされている。よって本研究では、出火から5分以内に火元での放水を開始し、0.1m³/分の放水量を保つことを初期消火の要件とする。バケツの運搬者が0.5mの間隔で列を組み、1杯あたりの水量3ℓでリレーをした場合、1列あたりの運搬能力は0.121m³/分であるが、1.0m間隔の場合は0.095m³/分となっている(表1)⁴⁾。よって、初期消火の要件を満たすために、運搬者同士の間隔は0.5m、バケツ1杯あたりに3ℓ汲水するものとして計算を行う。

表1 バケツリレーの能力

運搬者同士の 間隔(m)	バケツリレー1列あたりの 運搬能力(m ³ /分)
0.5	0.121
1.0	0.095
2.0	0.072

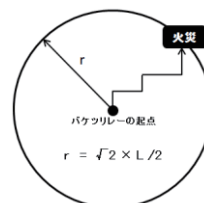


図1 バケツリレーの
消火可能な範囲

(2)初期消火が可能範囲の算定

バケツリレーにより初期消火が可能範囲は、バケツリレーの総延長から求められる。そこで、バケツリレー

総延長をバケツリレー参加人数から算定する。

バケツリレーの実施者を細分化すると、「水源から水を汲む人（汲水人員）」、「バケツを運搬する人（運搬人員）」、「火元に放水する人（放水人員）」、「空のバケツを火元から水源まで戻す人（返却人員）」の4つの役割に分割される^{4) 5)}。各役割について所要人数を算定すると以下のようになる。

・汲水：鳥山ら⁵⁾によると、1人の人がバケツに1杯水を汲むための所要時間は、3～4秒である。1杯当たり3ℓ汲水するものとする、0.1m³/分の放水量を保つためには、汲水人員が2～3人必要となる。よって本研究では、汲水人員を3人とする。

・運搬：運搬者同士の間隔は0.5mとするため、列1m当たりの運搬人員は2人必要となる。

・放水：1杯放水するための所要時間は3～4秒であるため、放水人員は汲水人員と同様に3人とする。

・返却：鳥山ら^{4) 5)}の結果から、返却人員は4人必要とする。

以上を踏まえると、バケツリレーの総延長 L (m) に対し、バケツリレー総人員 N (人) は

$$N=10+L \times 2$$

と必要となる。従って、

$$L=0.5N-5$$

となり、バケツリレー総人員からバケツリレー総延長を算定することができる。実際の市街地における道路の屈曲を考慮すると、消火可能範囲はバケツリレーの起点から $\sqrt{2} \times L / 2$ (m) の円内となる。つまり、初期消火可能範囲の半径 r (m) は、

$$r=\sqrt{2} \times L / 2$$

と表せる。

(3)活動所与時間とバケツリレー延長の限界

阪神・淡路大震災時の事例では、火災を覚知した住民の約75%が直接炎や煙を見て火災を覚知していたことが確認されている⁶⁾。従って、住民は煙や臭気により火災を覚知すると仮定すると、出火建物からの煙等の噴出時間が火災認知にかかる時間と等しくなるため、出火から住民が火災を覚知するまでに要する時間は2分となる⁷⁾。

住民が出火から2分以内に火災を覚知、速やかに列を編成し3分以内にバケツリレーを開始できると仮定すると、5分以内に初期消火を行わなければならないという前提から、初期消火の可能範囲はバケツリレー開始から2分以内に火元での放水が開始できる範囲内ということになる。鳥山ら⁴⁾によると、運搬者の間隔を0.5mとしたとき、バケツ1個の平均移動速度は40.3m/分である。これを用いると、バケツリレー開始から2分間で、バケツは汲水地点から80.6mの距離を移動することができる。3.(2)と同様に、道路の屈曲を考慮すると水源から約57mの円内が放水可能範囲となる。このときN=171であり、これがバケツリレー総人員の上限となる。

以上より、バケツリレー総人員 N と消火可能範囲の半径 r の関係は、一次関数で表されることがわかる。

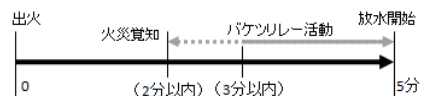


図2 出火からの流れ

(4)バケツリレーに参加する人員の算定

バケツリレーに参加する住民の人数を算定する。水源

から半径60m以内の範囲にいる10～89歳の住民のうち、地震による死傷者以外はバケツリレーに参加するものと仮定する。これは、水源から半径60m以内にいる住民は、1分以内に火災現場付近まで集合できると考えられるためである^(補注2)。これを踏まえ、以下の手順でバケツリレー総人員およびバケツリレー総延長を算定する。

①地区ごとの人口密度、10～89歳の人口構成率から半径60mの円内にいる住民(10～89歳)の人数を算出。②地震による死傷者の割合を算出。③死傷者の割合を用いてバケツリレーに参加不可能な人数を算定し、それを差し引いた数をバケツリレー参加可能人数とする。④参加可能人数が171人以下の場合にはこれをそのままバケツリレー総人員 N とし、171人より大きい場合には N=171 とする。

(5)バケツリレーの水源

各水源がバケツリレーの水源として機能するために必要な条件を定める。

まず、人が水を汲まなければならないため、人が水辺に接近できるということが第1の条件となる。また、地震火災時の消火活動を想定しているため、水道管が被害を受け上水が使用不可能となっても十分な水量を確保できることが条件に加わる。よって、消防法⁸⁾を参考に、水源の貯水量は80ℓ以上必要とする。ただし、上流より常に流水が補給される河川は地震の影響を受けないものと考え、貯水量は十分にあるとみなす。

次に、汲水活動に支障が出ないよう、バケツに水が入る最低限の水深を設定する。筆者らの実験により、水深5cm未満ではバケツに3ℓ以上汲水することができないことが確認されたため、5cm以上の水深が必要であると

する。3.(2)で述べたように、汲水人員は3人である。よって3人が汲水活動をするための空間(汲水活動場所)が沿岸に確保されている、あるいは水源に入って汲水活動を行えなければならない。

汲水活動場所の条件は、水源に沿って存在する300cm×110cm以上の平らなスペースで、水面からの高さが35cm以下であることとする。これは、四つんばいとなったときの寸法¹⁴⁾を参考に設定したものである。水面からの高さは、筆者らの実験により水面からの高さが35cm以下でないと汲水量の平均が3ℓ以上とならないことが確かめられたため、これに基づき設定した。

水源に入って汲水活動を行う場合には、汲水人員は水源の中に立って運搬活動が行われる場所へ水バケツを持ち上げなければならない。よって、水源の底と運搬活動が行われる場所の高低差は一定以下でなければならない。収納棚の物を出し入れできる高さの上限は、男子の平均身長である165cmの場合190cmである¹³⁾。容量10ℓの一般的な形状のバケツの高さは取っ手を含めると約40cmであることを考慮し、水源の底から運搬活動場所までの高さの上限を150cmとする。身長160cmの筆者が実際に試行したところ、150cmの高低差でも3～4秒/杯のペースで汲水が可能であったため、これを妥当と判断した。

また、水源に入って汲水活動を行う場合には、安全に消火活動を実施するという観点から、流速による制約も条件に加味しなければならない。

流速が0.5m/秒以上になると、水深が膝の高さ(成人男性の場合40～50cm)を超えた場合に歩行困難と感じる人が多くなる⁹⁾。よって、流速が0.5m/秒以上の場合には、水深40cm未満でなければ水源に入って汲水活動を行え

ないとする。

流速 0.5m/秒未満の場合でも、水深が肘以上までであると支障が出ると思われる。肘までの高さは 20~79 歳男性で 970~1043mm、20~69 歳女性で 912~967mm であるので 10)、水源に入って汲水できる最大水深は、流速が 0.5m/秒未満の場合 90cm とする。水深 90cm は、身長 165cm の人が流速 0.5m/秒の流れの中で安全に避難が可能な領域内に収まる数値であり¹⁶⁾、安全に消火活動を実施するという観点からも妥当な基準といえる。

4. 算定方法の検証

各地区の地震火災対策上の問題点等を明らかにし、2 章、3 章で示した算定方法の有用性を検証するために、ケーススタディを行う。具体的な地域を対象に、3.5 に示した条件を満たす水源を抽出し、バケツリレーの起点をプロットする。それを中心として消火活動の可能範囲を地図上に表現する。調査の対象とする水源は、国土地理院の基盤地図情報に収録されている水域とした。

(1)地区選定と現地調査

ケーススタディの対象地区は、京都市から選定した。京都市は、住宅総数のうち 1950 年以前に建てられた木造家屋の割合が約 4.6%と 18 大都市中最も大きく¹⁸⁾、地震火災の危険性が高いと予想されるからである。京都市の元学区で、出火件数(予測)¹¹⁾が 1.51 件/km² 以上かつ延焼建ぺい率¹²⁾が 50%以上の地域を含む 8 地区のうちから、鴨川・高瀬川、堀川、天神川、旧安祥寺川・竹田川を含む菊浜地区、聚楽地区、柏野地区、山階地区の 4 地区を選定した。現地調査は、出火率が高く、降水量が最も少ない 12 月¹⁹⁾に実施した。河川等の流量や水深に降水の影響が及ばないよう、24 時間以内に降水がない時刻に調査を開始した。

(2)バケツリレー総人員と消火活動の可能範囲

ケーススタディでは、3.(2)で示した手順で地区ごとにバケツリレー総人員を算定し、3.(3)に基づき初期消火可能な範囲の半径 r (m) を算定した。その結果を表 2 に示す。

表 2 消火可能な範囲の算定

学区	菊浜 (下京区)	柏野 (北区)	聚楽 (上京区)	山階 (山科区)
人口密度(人/km ²) ¹²⁾	12842	20530	18657	11412
10-89 歳人口構成率(%) ¹²⁾	90.5	93.3	91.2	91.1
半径 60m 以内にいる住民(10-89 歳)	131	217	192	118
行政区の人口(人) ¹²⁾	75437	124266	83534	136670
行政区内死者数(人) ¹¹⁾	400	500	200	200
行政区内負傷者数(人) ¹¹⁾	16600	14200	14400	13800
行政区内死傷者数(人)	17000	14700	14600	14000
行政区ごと死傷者の割合	0.23	0.12	0.17	0.10
半径 60m 以内の死傷者(人)	30	26	34	13
バケツリレー参加可能人数(人)	101	191	158	105
バケツリレー総人員 N(人)	101	171	158	105
バケツリレー総延長 L(m)	46.2	81.0	74.7	47.8
初期消火可能な範囲の半径 r(m)	32.7	57.3	52.8	33.8

(3)水源の分布と初期消火可能な範囲

・菊浜地区

菊浜地区は東側に鴨川、西に高瀬川が流れている。高瀬川は石積み護岸でコンクリートで底張りされた、掘りこみが比較的浅い(ほとんどの箇所 150cm 以下)河川

である。兩岸は道路で、柵なども特に設けられておらず容易に流れにアクセスできる。水深は十数 cm 程度である。一部道路との高低差が大きい箇所、樹木や生垣などに阻まれアクセスできない箇所以外は、バケツリレーの水源の条件に適合していた。鴨川はこの区間、石積み護岸と床止工を連続的に配した掘込河川である¹⁵⁾。法面が垂直に近く、堤内地盤が河道よりも 4m ほど低いため、流れにアクセスしづらい構造となっている。そのため、バケツリレーの起点となる場所は、高水敷へ降りるための階段が設置されている 1 箇所のみであった。



図 3 菊浜地区

・柏野地区

柏野地区の西側には、天神川が流れている。天神川は、三面コンクリート張りの河川である。左岸には住宅が密集していて、河川区域内にアクセスできない。右岸に道路が沿っているところもあるが、ガードレールが取り付けられていて河川区域に入れないようになっている。道路上から川まで落差がかなり(場所によっては 4m 以上)あり、法面がほぼ垂直につくられているため、ガードレールを乗り越えて河川区域に入ることも難しい。2 か所のみ、高さが 150cm 程度で、ガードレールを超えて河川内に入ることが可能な箇所があった。水深は浅いものの(3~5cm 程度)水は常に流れており、バケツリレーの水源として利用できる。地区内には、柏野小学校がある。プールには常時水をためておくことが可能であるため、バケツリレーの起点とできる。



図 4 柏野地区

・聚楽地区

聚楽地区の東側には、堀川が流れている。堀川では親水施設の整備が行われ、せせらぎや遊歩道、ベンチなどが設置されている。兩岸には道路が沿っており、道路と川をつなぐ階段やスロープが、この



図 5 聚楽地区

区間では 7 か所整備されている。堀川は、高水敷が広く汲水地点からバケツリレーの起点までの距離 D (m) が長い。よって、バケツリレーの総延長 L (m) から D (m) を引いた値 L' (m) に基づき、初期消火が可能な範囲の半径 r' (m) を算定することとした。

$$L' = L - D$$

$$r' = \sqrt{2} \times L' / 2$$

また、同地区内にある旧聚楽小学校のプールには防災用に常時水が溜められており、バケツリレーの水源とし

て利用が可能である。

・山階地区

この地区の西には旧安祥寺川、中央には竹田川が流れている。旧安祥寺川は三面コンクリート張りの河川である。左岸には（一部右岸も）道路が通っている。河床と周辺の地盤との高低差が 3m 以上あり、柵が設けられていて流れにはアクセスできない。汲水が可能



図 6 山階地区

な地点は見つからなかった。竹田川もコンクリート張りの河川である。左岸は道路で、道路と河床の高低差が 2m ほどあるため柵が設けられている。柵の所々に出入り口が設けられていておりられるようにはなっているが、道路と河床の高低差が大きいためバケツリレーの水源には適さないと判断した。右岸には住宅が立ち並んでおり、流れにアクセスできる箇所はなかった。地区内には山階南小学校、東山幼稚園のプールがある。プールには常時水をためておくことが可能であるため、バケツリレーの起点とした。その他の水路は、水がほとんど流れていない、もしくは暗渠化されているためにバケツリレーの水源に適していなかった。

(4)各地区の特徴と問題点

・菊浜地区

高瀬川の両岸の住宅群は消火活動が可能範囲に入っているが、それ以外はほとんど範囲外となった。鴨川へのアクセス路が十分に整備されれば、菊浜地区の 1/2 程度の建物が消火活動の可能範囲に入るものと考えられる。

・柏野地区

柏野地区は水源が少なく、天神川が整備され水源として利用できるようになったとしても、地区中心の住宅密集地までは初期消火活動の可能範囲が広がらない。

・聚楽地区

聚楽地区の市街地と堀川との間に幅 25~30m 程度の道路があるため、堀川を水源とする消火活動の可能範囲は、市街地の建物群まで広がらない。一方、旧聚楽小学校のプールは住宅地内にあるため、初期消火に十分貢献すると考えられる。

・山階地区

旧安祥寺川と竹田川が流れているにも関わらず、両河川ともバケツリレーの水源として利用できないため、消火活動が可能範囲は地区内にほとんどない。また、地図に表記されている水路の中には既に暗渠化されているものもあり、火災対策上の潜在能力が十分に発揮できていない。

・考えられる対策

以上の課題への対策として、水源が不足している地区では風呂に水を溜め置く、風呂屋や工場の貯水槽など民間所有の水源を地震火災時に使えるよう協定を組むなどして水源を確保することが考えられる。もしくは、バケツリレー以外の初期消火の手段を講じておくべきである。また、水路の暗渠化はできる限り避け、三面コンクリート張り河川などに関しては親水設備の整備をすることが望ましいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、バケツリレーによって初期消火が可能な範囲を算出し地図上に表現する手法を確立することによって、バケツリレーによる消火活動を定量的に評価することが可能になった。また、4 地区でのケーススタディを通して、水があっても利用できない例や、工夫によって可能性が広がる例、水源そのものが足りない例など、地域の特徴を明らかにすることができた。

6. 今後の課題

本研究では、バケツリレーによる初期消火活動の可能範囲の算定において、運搬者同士の間隔は 0.5m、出火覚知から 1 分で消火活動を開始などとしているが、これらの仮定が妥当か否か詳細な検討がされていないため、バケツリレーの諸条件・活動所与時間の妥当性の実証が今後必要であると考えられる。また、消火活動の訓練の効果を評価結果に反映させる方法や、地図に表記されていない水源の評価方法の検討も、今後の課題である。

補注

(補注 1) : 阪神・淡路大震災では脱衣かごや買い物かごでもビニール袋をかぶせてバケツに代用した事例もあり、緊急時にはあらゆるものが利用できると思われるためである。

(補注 2) : 火災覚知後、防災対策上よく用いられる 60m/分の歩行速度¹⁷⁾で火災現場に向かうと仮定したためである。

参考文献

- 1) 日本火災学会：1995 年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書，1996.
- 2) 堀内三郎ほか：新版建築防火，p. 231，1998. 3.
- 3) 前掲書 1)， pp. 120-pp. 126
- 4) 鳥山和人ら：震災時における住民によるバケツリレーのための効果的な人員配分に関する研究，地域安全学会論文集 No. 9， pp. 209-pp. 216，2007.
- 5) 鳥山和人ら：地震時における住民による効果的なバケツリレーに関する研究，地域安全学会梗概集， pp. 129-132，2005. 11.
- 6) 前掲書 1)， pp. 210-pp. 213
- 7) 中野孝雄ら：軽可搬ポンプによる消火活動能力評価手法の構築と消火活動能力向上方策，地域安全学会梗概集 (20)， pp. 9-pp. 12，2007. 5.
- 8) 総務省消防庁：消防法施行規則（昭和三十六年四月一日自治省令第六号）第六条
- 9) 栗城稔ら：関川豪雨災害（1995），土木学会誌 Vol. 81， pp. 61-pp. 64，1996. 7.
- 10) 経済産業省：「size-JPN 2004-2006」調査結果について【別紙】， pp. 1-pp. 9，2007. 10.
- 11) 京都市消防局：京都市第 3 次地震被害想定，2009. 11.
- 12) 京都市消防局：京都市消防局震災消防水利整備計画，2004. 1.
- 13) 日本建築学会：建築設計資料集成 3 単位空間 I， p. 23，1995. 8.
- 14) 前掲書 13)， p. 11.
- 15) 京都府：鴨川河川整備計画， p. 2，2010. 1.
- 16) 財団法人日本建築防災協会：地下街等浸水時避難計画策定の手引き（案），【例編】 I. 避難安全性の検討例， p. 133，2004. 5.
- 17) 日本火災学会：火災便覧第 3 版， pp. 551，1997. 5.
- 18) 平成 20 年住宅・土地統計調査
- 19) 気象庁：過去の気象データ検索 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>