

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

A Study on the Effective Bucket Relay against Post-Earthquake Fire by the Residents

○鳥山 和人¹, 糸井川 栄一²

Kazuhito TORIYAMA¹ and Eiichi ITOIGAWA²

¹ 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学大学院システム情報工学研究科

Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

When a strong earthquake hits a city, a number of fires may occur at the same time and the city would suffer huge damage. The number of fires would exceed the ability of public fire fighting. Therefore, self help of local community including the residents is necessary in order to block the post-earthquake fire spread.

This study focuses on the bucket relay against fire that everyone can execute. First, we analyze the mechanism of the bucket relay. Then, we experiment on the bucket relay. Finally, we propose the effective bucket relay from the experiment results.

Key Words : bucket relay, earthquake fire, fire-fighting activity

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、公設消防力を上回る被害が発生した¹⁾。加えて、消防水利の被害・道路被害などにより、公設消防機関の活動を阻害する結果となった²⁾。そのような状況下で、神戸市長田区西代市場で住民によるバケツリレーが行われ、延焼を阻止し、被害軽減に貢献した事例もあった³⁾。住民による消火活動のなかでバケツリレーは一定の効果をもたらすことができたと考えられる。

しかし、バケツリレーに対して、その行動を定量的に評価した研究は少なく、経験的な考えに基づき実施している現状のバケツリレーに定量的な評価を与えることはバケツリレーの効果客観的に評価する際、重要である。

そこで本研究では、公的機関の対応能力を超えた地震時災害が発生した場合、住民が行う自助対応能力の1つとして、効果的かつ、地震時における混乱の中、誰もが実施可能なバケツリレーの方法を明らかにすることを目的とする。なお、ここでいう効果的なバケツリレーとは、単位時間あたりに最大限水を運搬可能なバケツリレーを指す。

2. 住民によるバケツリレーの実態把握

住民が行うバケツリレーの方法を把握するために、墨田区立花あづま町会の防災訓練で実施されたバケツリレーと墨田区京島3丁目の防災訓練で実施されたバケツリレーを参考とした。

2004年11月14日に墨田区立立花中学校で墨田区立花あづま町会員が実施した防災訓練において、バケツリレーが行われた。使用したバケツは各家庭から持ち寄ったもので、集まったバケツの容量を計測すると、1個あたりのバケツの容量が10lであるものが大半であった。

また、2004年7月1日にNHK総合で放送された番組³⁾で紹介された、京島3丁目のバケツリレーの特徴として、以下の3点があげられる。

- ・ バケツリレー実施者が同じ方向を向いて一列に並びバケツを運搬する方法(以下「直線型」とする)とは異なり、ジグザグの陣形(以下「対面型」とする)で並び、手を伸ばして届く範囲でバケツを渡している。
- ・ バケツを水源から火元まで運搬後、水を一度桶にためてから放水している。
- ・ 空のバケツを別ルートで水源まで戻す役割を、何人が割り当てている。

2つのバケツリレーを観察した結果、共通することとして、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」の3要素であるという点と、バケツリレー実施者を細分化すると、「水源から水を汲む人」、「バケツを運搬する人」、「火元に放水する人」、「空のバケツを火元から水源まで戻す人」の4つの役割に分割することが可能な点である。

3. バケツリレーの実験計画

以上を踏まえ、バケツリレーを定量的に把握するために、「水源から水を汲む」、「バケツを運搬する」、「放水する」の実験を行った。各役割の能力を把握することが、単位時間あたりに運搬可能な水量を増加させることに繋がるためである。

また、誰もが実施可能で効果的なバケツリレーを提案するという本研究の目的から、実験ではバケツリレー実施者が特別な技術を必要としない方法を用いることによる、各役割の定量的把握を行った。なお「空のバケツを火元から水源まで戻す」実験は、実験を行わずとも能力を想定することが可能なため、割愛した。

(1) 実験概要

実験は、2004年12月20日・21日に筑波大学内のグラウンドで実施した。実験におけるバケツリレーに必要な3要素を以下の通りに設定した。

- ・ 水源：簡易水槽（容量：1000l）をつくば中央消防署から借用した。
- ・ バケツリレー実施者：20代前半の23名（男性：18名、女性：5名）で行った。実験参加者にアンケートを行ったところ、23名全員がバケツリレーの経験が無いと回答した。また、バケツリレー実験参加者の大半が日頃から特に運動をしてないと回答した（図1より）。一般的な20代の若者が実験に参加したといえる。
- ・ バケツ：立花あづま町会における防災訓練から1個あたりのバケツの容量を10lに統一した。

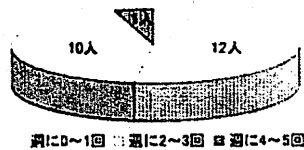


図1. 実験参加者の最近1年間の運動状況（回/週）

(2) 水源から水を汲む実験

水源から水を汲む実験では、バケツ1個あたりの水量を3l・7l・10lの3段階に調節して、以下の実験方法を行った。（図2、表1を参照）

- ・ 水を汲む人による、水源から水を汲む前のバケツの取り方を、手渡しで受け取る・地面に置いた状態のバケツを汲む人自身で取る、2通り行った。
- ・ 水を汲む人による、水源から水を汲んだ後のバケツの渡し方を、手渡し・地面に置いて渡す、2通り行った。バケツ10個を汲むために必要な所要時間の計測を、上記の組み合わせに従い計12通り、各1回実施した。

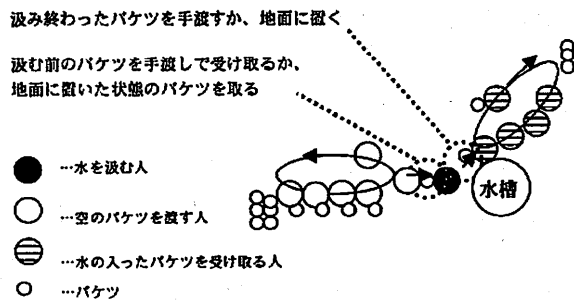


図2. 実験方法（汲む）

表1. 実験パターン（汲む）

水を汲む人のバケツの受け取り方(汲む前)	水を汲む人のバケツの渡し方(汲んだ後)	
	バケツを手渡し	バケツを地面に置く
バケツを手渡しで受け取る	A-1	A-2
地面に置いた状態のバケツを取る	A-3	A-4



写真1. 汲む様子1（実験より）



写真2. 汲む様子2（実験より）

(3) バケツを運搬する実験

バケツを運搬する実験では、直線型・対面型の2通りを用いて、以下の実験方法を行った。（表2を参照）

- ・ バケツ1個あたりの水量を0l・3l・7l・10lの4段階に調節して行った。
- ・ 運搬者同士の間隔を0.5m・1m・2mの3段階に調節して行った。

10m区間でバケツ20個を運搬するために必要な所要時間の計測を計24通りのうち、バケツ1個あたりの水量が0l、10l時の運搬者同士の間隔0.5m、2mを除く、計16通りを各1回行った。（表2の網掛け部分を実験した。）

表2. 実験パターン（運搬する）

バケツ1個あたりの水量(l)	運搬者同士の間隔(m)		
	0.5	1	2
0		B-3	
3	B-1	B-4	B-7
7	B-2	B-5	B-8
10		B-6	



写真3. 直線型（実験より）



写真4. 対面型（実験より）

(4) 放水する実験

放水する実験では、バケツ1個あたりの水量を3l・7l・10lの3段階に調節して、以下の実験方法を行った。（図3、表3を参照）

- ・ 放水する人による、放水前のバケツの取り方を、手渡しで受け取る・地面に置いた状態のバケツを放水する人自身で取る、2通り行った。
- ・ 放水する人による、放水後のバケツの渡し方を、手渡し・地面に置いて渡す、2通り行った。

バケツ10個を放水するために必要な所要時間の計測を上記の組み合わせに従い計12通り、各1回実施した。

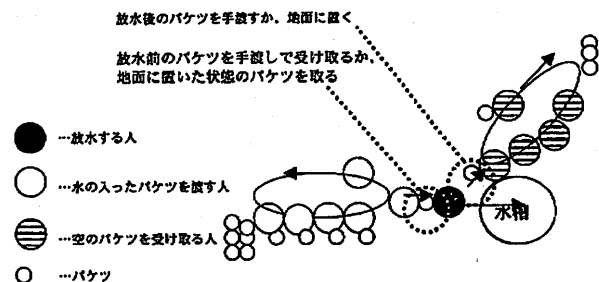


図3. 実験方法（放水する）

表3. 実験パターン（放水する）

放水する人のバケツの受け取り方(放水前)	放水する人のバケツの渡し方(放水後)	
	バケツを手渡し	バケツを地面に置く
バケツを手渡しで受け取る	C-1	C-2
地面に置いた状態のバケツを取る	C-3	C-4



写真5. 放水する様子1 (実験より)



写真6. 放水する様子2 (実験より)

4. 実験結果と分析

(1) 水源から水を汲む実験

- バケツ1個を汲むための所要時間を図4に示す。バケツ1個あたりの水量が3l・7l・10lのいずれの場合であっても、最もバケツ1個を汲むための所要時間が短いパターンはA-3となった。理由として以下が考えられる。
- 水を汲む人のバケツの受け取り方で、地面に置いて状態のバケツを取る方法は、手渡しで受け取る方法に見られる。バケツを渡す人から水を汲む人への手渡しの際の、バケツを確実に掴んでいるかを確認するための意思疎通の時間を必要としないため、所要時間が短くなると考えられる。
 - 汲み終わったバケツの渡し方で、汲み終わったバケツを手渡し方法は、地面に一旦置いて渡す方法と比較して、水の入ったバケツによる身体的負担が少ないため、所要時間が短くなると考えられる。

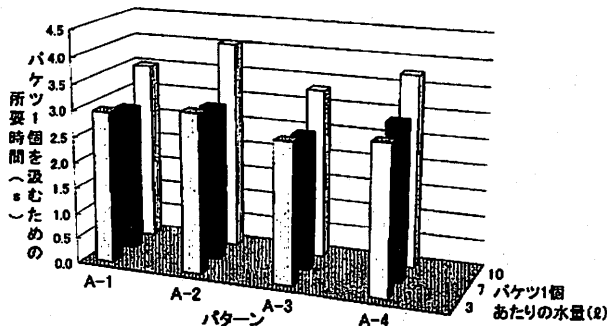


図4. 実験結果：水を汲む場合の所要時間

(2) バケツを運搬する実験

バケツ20個を運搬するための所要時間の計測結果を図5に示す。すべてのパターンにおいて、わずかではあるが直線型より対面型の方が、所要時間が短くなった。

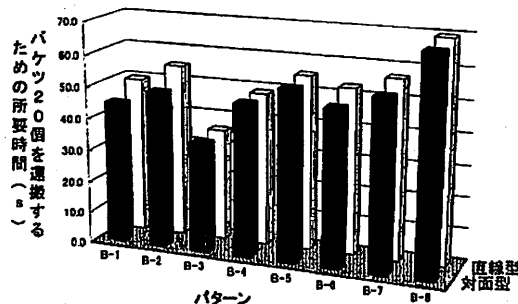


図5. 実験結果：バケツ20個を運搬する場合の所要時間

運搬者同士の間隔を変え、対面型における経過時間ごとの10m区間に存在するバケツの個数を表したものを図6に示す。運搬者同士の間隔が狭いほど10m区間におけるバケツの個数は増加する結果となった。直線型の場合も同様の結果となった。

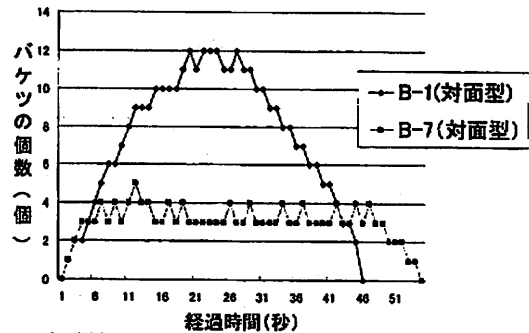


図6. 実験結果：10m区間内に存在するバケツの個数

対面型の並び方が直線型と比較して短時間でバケツを運搬可能な理由として、対面型に運搬者が並ぶことで、運搬者が両端の運搬者を目視することが容易となり、バケツに対する視認率が上昇するためと考えられる。

(3) 放水する実験

バケツ1個を放水するための所要時間を図7に示す。バケツ1個あたりの水量により、所要時間の短い方法は異なる。特徴としてバケツ1個あたりの水量が増すと、地面に置いてある水の入ったバケツを取ってから放水するよりも、手渡しで受け取った方が、所要時間が短くなる傾向がある。理由として放水する際、水量が増すと身体的負担が増すため、バケツの移動距離が短い手渡しでバケツを受け取る方法が、所要時間が短くなったと考えられる。

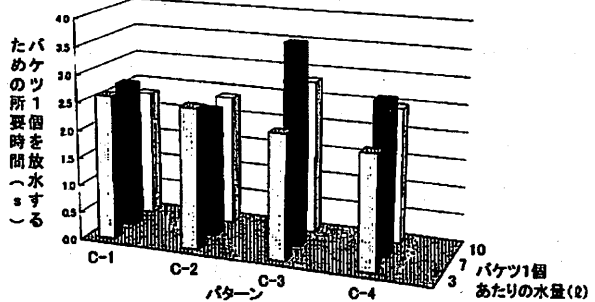


図7. 実験結果：放水する場合の所要時間

5. 効果的なバケツリレー方法の提案

(1) 効果的な運搬方法

効果的なバケツリレー方法を提案するにあたって、バケツリレー実施者の中で最も人数を必要とする運搬方法を決定する必要がある。そこで運搬能力を最大化する方法を提案した後、汲む・放水する・空のバケツを戻す人数を設定することとする。

運搬能力を表す式とバケツリレーに必要な3要素を以下のように設定する。

$$Q = n p v w t \quad \dots \dots [1]$$

Q : t までに運搬可能な水量 (l)

- n : 運搬する列数 (列) (表 4 を参照)
- ρ : バケツの密度 (個/m)
(1 個目のバケツが運搬終了直後
~20 個目のバケツが運搬開始直前までの値)
- v : バケツの平均速度 (m/s)
(2~19 個目のバケツの平均速度)
- w : バケツ 1 個あたりの水量 (l/個)
- t : 経過時間 (s)
- ・ 水源: 1 箇所を想定し, 水源の水量は無限と設定する.
- ・ 運搬者: 運搬者の能力を均一とし, 運搬者数を約 200 人と設定する.
- ・ バケツ: 1 個あたりのバケツの容量を 10l と設定し, バケツの個数は無限, バケツリレーの際にこぼれる水量は考慮しない.
- ・ その他: 火元は 1 箇所を想定し, 実施時間を 60 分, 水源から火元までの距離を 100m と設定する.

表 4. 運搬者の間隔と列数

間隔	列数
0.5m	1列
1m	2列
2m	4列

ただし, 図 5 の B-3~B-6 を見ると, バケツ 1 個あたりの水量が 10l の時, 7l の場合の所要時間を超えると予想されるが, 実際には所要時間が短くなるという結果が出た. バケツリレー中にこぼれる水量が影響しているためと予想されるため, 今回, 条件としてバケツリレー中にこぼれる水量は考慮しないことから 10l の場合は除外する.

式[1]に従って, バケツ 1 個あたりの水量, 運搬者同士の間隔ごとに Q を算出する. なお前述の通り, 対面型は直線型よりも所要時間が短くなるため, 計算は対面型のみ行う. 結果を図 8 に示す. 図 8 より, B-8 のパターンが運搬可能水量 Q を最大にすることがわかった.

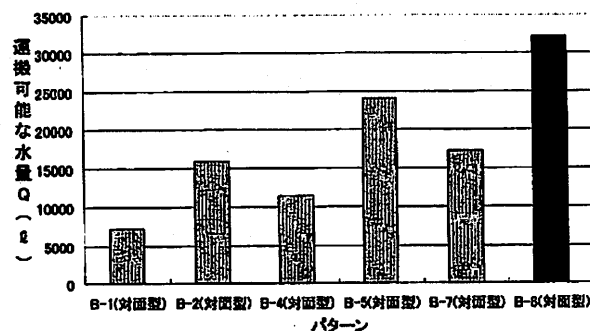


図 8. 運搬可能な水量 Q (l)

(2) バケツリレー方法全体の提案

図 4 よりバケツ 1 個を汲むための最短所要時間は約 2.6 秒であった. 図 7 より, バケツ 1 個あたりの水量が 7l の時, バケツ 1 個を放水するための最短所要時間は約 2.3 秒であった. また, 新たに運搬能力を表す式を以下のように設定する.

$$t' = 1/\rho v \dots [2]$$

t' : 運搬されるバケツ間の時間差 (s/個)

実験結果より, バケツ 1 個あたりの水量が 7l の時 $t'=3.1$ (s/個) となる. バケツ 1 個を汲むための所要時間と, バケツ 1 個を放水するための所要時間より, 値が大きいので, バケツ 1 個に対して最も所要時間を必要とする, 運搬する役割に残りの役割を合わせる. B-8(対面型)のパターン 1 列に対して, 汲む人数を 1 人, 放水する人数を 1 人設定する.

また, 空のバケツを戻す人数は, 空のバケツを戻す人の走る速度を 10 km/h とすると, 空のバケツを戻す人が火元から水源までの 100m を往復した時, $t'=3.1$ (秒/個) より火元に 23~24 個の空のバケツがあると想定される. そのため, 1 人あたり空のバケツを 10 個持つと仮定した時, 戻す人数を 3 人で行うことが望ましいと考えられる.

6. おわりに

本研究では, バケツリレーをメカニズムとして捉え, バケツリレーの実験を行い, 実験結果から効果的なバケツリレーの提案を行った. その過程で効果的なバケツリレーを提案するための諸問題を明らかにすることができた. 特に, バケツリレーに必要な 3 要素の設定の細分化と, 細分化された項目に対する定量的把握を行うための方法が大きな課題となった.

水源については, 水源の水量や形状によって 1 回あたりに汲むことが可能な水量に限られる. バケツリレー実施者については, 実施者の性別やバケツリレー経験の有無等といった個人属性により, バケツリレーの結果も異なる. バケツについては, バケツの個数や容量の設定に加え, バケツリレー中にこぼれる水量を考慮する必要がある.

また, 今回の実験では, 運搬者同士の間隔が 2m より広い場合の実験を行っておらず, 実験自体に対する課題も多く残った.

今後は, 以上の点を考慮しつつ, 研究を進めていく予定である.

謝辞

本研究を進めるにあたって, 防災訓練に参加させて頂いた立花あづま町会の皆様, バケツリレー実験を行った際にご協力頂いたつくば中央消防署の皆様, バケツリレー実験に参加して頂いた皆様には多大なるご協力を頂きました. 記して感謝致します.

参考文献・資料

- 1) (社)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, 1996.11
- 2) 総務省消防庁:自主防災組織の活動体制等の整備に関する調査研究報告書, 1998
- 3) NHK 総合「難問解決!ご近所の底力」, 平成 16 年 7 月 1 日放送