

震災時の水運搬能力と水利用*

Households' water transportation and water use
in quake attacked area.

奥村誠**, 吉田英雅***

By Makoto OKUMURA and Hidemasa YOSHIDA

After the Grate Hansin Earthquake, it was hard for people in quake attacked area to keep households' water and to transport it to their home. In this study, at first, we investigate households' water transportation ability by hands, using sports physiology procedure. Secondly, we investigate the actual availability of water after the earthquake. Thirdly, we summarize water use behavior after the quake from literature of people's personal experience. Finally, we compare these conditions and behavior with water use behavior in the pre-modern urban area without modern water supply service.

Keywords : Water Use, Households' Water Transportation

1.はじめに

阪神大震災により水道施設は最大断水戸数126万戸という甚大な被害を受けた。通常時には家庭の水道の蛇口をひねれば生活に必要な量の水が供給される現代において、水道システムの停止は最低限の生活をも脅かすほど人々の生活に大きな影響を及ぼす。これまでに緊急時の水の需要と供給について様々な研究、報告がなされてきた。

震災時の水利用行動では、水の供給場所から水の使用場所までの水の運搬行動が必要であった。たとえ需要量を満たすだけの供給量を確保することができたとしても、供給場所から運搬することができなければ家庭での需要量は満たされない。また交通渋滞や道をふさいだ瓦礫などにより自家用車の使用が困難だったことなど、水の運搬に対する阻害要因が多く見られ、運搬条件が厳しい制約となっていた。

ところがこれまで水の需要量と供給量に関する研究、報告に比べ、運搬についてのものはあまりなされていない。

そこで本研究では、まず人手による水の運搬能力を、運動生理学的な手法を用いて検討する。ついで、

震災時の水供給状況と人手による水の運搬能力とを合わせ、水の入手可能性の実態を検討する。さらに、体験談などの文献から震災時に入手水量が制限された際の水利用行動をまとめる。

ところで今日では、人手によって水を運搬することはほとんどなされていないが、水の運搬は水道のまだ普及していない時代には日常的な行動であった(表-1)。そこで本研究では、上述した分析の結果と、近代水道が各戸に普及する以前の都市における水利用行動を比較することにより、両者の類似性を考察し、今後の対策を考察する。

表-1 震災時と共同井戸使用時の水利用形態

		過去	震災時
水供給源		井戸・清浄な河川水・湧き水	給水車・ミネラルウォーター・井戸・河川水(清浄なものは少)
運搬	容器	水桶(17~27ℓ)	ポリタンク・バケツ ペットボトル
	手段	・手に持つ ・頭にのせる ・天秤棒につけて担ぐ	・手に持つ ・可能なら自転車や自動車 ・台車を使用
備蓄		水瓶・水桶	券博:ポリタンク、バケツ
水利用行動		・井戸から家庭まで水運搬 ・水汲み場までたらいを持っていき洗濯 ・風呂をたくことはほとんどなくお湯を沸かして行水 ・雨水の利用 ・自然の流れを利用した便所	・給水点、井戸、河川から水運搬 ・水のある場所へ行って洗濯 ・共同風呂 ・雨水の利用 ・洗濯や食器洗いの残り水や河川水、プールの水を便所に流す

* キーワード: 水利用・水運搬

** 正会員 工博 広島大学工学部建設系 助教授

(〒739 東広島市鏡山1-4-1)

*** 学生員 広島大学大学院工学研究科

2. 水運搬能力

(1) 運搬可能水量

本研究では水の入手行動において、遠くなると重い水量を運ぶことができないことに注目し、運動生理学の研究成果¹⁾を参考にして、運搬可能水量という考え方を提案する。以下に運搬可能水量の算出手順を示す。

人がある運動をするときその運動の強度によって継続できる時間が異なる。荷物の運搬という運動を考えると、まず運搬する荷物の重さに対応する運動強度（エネルギー代謝率；RMRという単位で示す）を算定する。表-2は運動生理学の文献中から歩行や運搬に関するエネルギー代謝率の値を抜粋したものである。

運動・作業	RMR (エネルギー代謝率)	
歩行 90m/min	4.0	
運搬	1 kg	3.2
	5 kg	3.8
	10 kg	5.0
	20 kg	6.2
	30 kg	8.0
	40 kg	9.1

注) 日常歩行(通勤)では、約1kgの荷物を持っていると仮定した。

これから、それぞれの重さの荷物を90m/minで運搬するときのRMRを求める(表-3)。次にエネルギー消費量と困憊するまでの運動時間との関係(表-4)を用いて、その強度の運動を継続できる時間を求め、最後にその時間と運搬する速度をかけて運搬距離を求める。以上で算出した関係を逆に用いると、運搬距離に対する運搬可能水量が求められる。以上のようにして求めた運搬可能水量を図-1に示す。ここで算出した値は健康な成人男性の場合の標準値であり、実際にはこれに年齢や性別の違いが影響を与える。なお、この水量は理想的な容器があったとした場合の水量であり、震災時には適当な容器を保有していなかった家庭が多かった。なお、トロック押しのRMR値を参考にすれば、台車を用いた場合の能力も計算できる。すなわち、30ℓ程度の水を台車を使えば、15ℓを手で運搬するのと同程度の負荷で運ぶことができる。

表-3 荷物の重さに対するRMR

荷物の重さ (kg)	1	5	10	20	30	40
RMR	4.0	4.75	6.25	7.75	8.30	11.38

表-4 運動強度とエネルギー消費量

運動時間 (困憊までの時間)	1s	1min	2min	4min	10min
エネルギー消費量 (kJ)	120	250	400	620	1150

運搬可能水量 (ℓ)

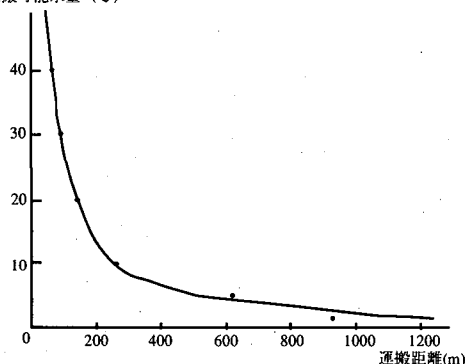


図-1 運搬可能水量

3. 震災時の水の入手可能性

(1) 入手水量の規定要因

これまで緊急給水車による給水量の不十分さが指摘されている。もちろん、供給量が世帯当たり10ℓしかなければ水は10ℓしか入手できない。しかし、たとえ供給量が十分用意されていたとしても、家庭までの運搬能力が小さければ入手水量は限られる。したがって、水道が停止した際には水の運搬可能量と供給量の双方が規定要因になるといえる。そこで運搬可能水量曲線の上に給水点の位置と水量を重ねることにより、水供給量と入手水量との関係を分析する。

(2) 震災時の神戸市における緊急給水状況

土木学会において阪神大震災による配水機能被害の復旧プロセスにおける諸問題に関する研究報告がなされている。この中で、給水活動の状況や断水戸数の解消プロセスなどが詳しくまとめられている²⁾。この資料を用いて、震災時の神戸市における緊急給

水の給水点から各世帯までの距離や給水量について平均的な数値を算出した。すなわち、震災直後には平均584mの地点で1世帯当たり1.7ℓ、10日後には557mの地点で5.7ℓ、30日後では352mの距離で10.0ℓ程度の緊急給水がなされていた。

これらの緊急給水は、当初避難場所にもなっていた170の小学校を中心に行われていた。しかし、給水を行う時間や水量の約束ができなかったため、供給側は情報を報道機関に積極的に提供することができなかった。そのため被災者は必ずしも最も近い給水所の位置や供給時刻、供給量を知っていたわけではない。当初のこうした経験から、いつでも水が手に入る常設の給水拠点が各区に1ヶ所、全部で9ヶ所設置された。区の面積を考えると、この常設給水地点までの平均距離は約1,700mとなる。以上の緊急給水状況を図-2では白抜きの棒グラフで表現している。これより、直後は緊急給水量が小さかったが、10日後以降では、むしろ運搬可能性が制約となって必要な水量が入手できなかったことがわかる。

(3)緊急時の河川水・井戸水の供給状況

震災時には、多くの人々が河川水や井戸水、その他の水を使用していた。これらの自然水の供給状況について考察する。神戸市の河川までの平均到達距離は714m³⁾であり、震災発生2週間後の2月3日の神戸市内の主要8河川の総流量は日量約10.4万トン⁴⁾、1世帯当たり173ℓに相当する。また、東京圏のある都市における実態調査⁵⁾から推測した井戸までの平均到達距離は470mである。井戸での供給量は1人当たり6.6ℓという報告⁴⁾がなされており、1世帯が平均2.5人として1世帯当たりでは16.5ℓとなる。これらの自然水の供給状況を図-2では網掛けの棒グラフで表示している。これらの河川水や井戸水についてはかなりの水供給量があり、運搬条件さえ整えば多量に水を入手することが可能である。ただし、これらの水は水質についての保証はまったくないため、雑用水としては利用できるが、飲料や調理用としては利用できるかどうかかわからない。

(4)アンケート調査に見る取得水量と運搬距離

文献⁴⁾では、水入手者についての運搬距離と運搬

水量に関する実態アンケート調査を行っている。ここではその値を表-5に再録し、図-2中にプロットを加えた。これから、運搬距離は上述した平均距離とほとんど同じ値である。水量は、それぞれの水供給量に近いが、人手による運搬可能水量のほぼ2~3倍となっている。このことから、表-5の水量を人手で運ぶには体力的にかなり無理がかかっていたと想定され、実際には台車その他の手段が使われたと考えられる。

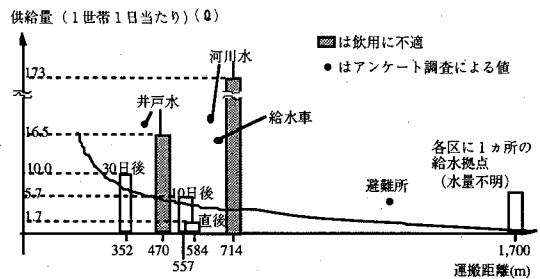


図-2 震災時の神戸市の水供給状況

表-5 水源別の取得水量、運搬距離、所要時間

水源	回答数 (人)	取得水量 (ℓ/日)	運搬距離 (m)	取得に要した時間(分)
自家水	80	12.6	4	12
井戸	32	18.5	410	15
河川、湧水	14	20.0	650	15
水道漏水	19	34.7	317	16
店頭	28	7.3	590	43
給水車	32	15.6	690	57
避難所	11	5.2	1,450	29
その他	108	20.0	13,000	45

4. 震災時の水利用行動

(1)需要量の圧縮

震災時には水道システムが停止し、入手水量が制限され、様々な水の使用用途を断念し需要量を圧縮しなければならなかった。阪神大震災の体験談を記載した雑誌⁶⁾の中の水利用に関する記述から、入手水量が制限されたときの人々の対応行動をまとめてみた。これを表-6に示す。

表-6 入水水量が制限されたときの対応行動

飲用・炊事	入浴	
・水使用の少ない容器	3	・地域外で入浴
・ラップで食器をカバー	12	・銭湯、仮設風呂
・紙容器、トレイ	4	・水不要シャンプー
・米のとぎ汁で洗い物	2	・入る順番を工夫
・地域外で炊事	1	
洗濯・手洗い	洗濯	
・ウェットティッシュ	6	・地域外で洗濯
・お尻ふき、タオル	2	・二次水の利用
		・着替え回数を減らす
		・コインランドリー
トイレ		
・二次水の利用	10	・手洗いにより節水
・紙を流さずゴミに	7	・洗剤を使わない
・複数回ためて流す	4	・紙下着
・男子小便を庭や空き地で	3	
・紙おむつ	1	

この表から、まず飲料水については使用量を減少させるような行動はとられなかったことがわかる。これは震災が冬季であったため、もともと飲料水の量は少なかったことの影響もある。次に、炊事・入浴・洗濯については、電気・ガスが停止していたため平常時のような行動がとれなかった人が多く、震災直後にはこれらの水需要の必要度は低かったと言える。また、それらの水利用をする際にも表-6に示すように様々な方法で水量を圧縮する方法がとられている。これに対し、トイレの水については震災直後から需要が存在し、その必要性はかなり高いものであった。したがって、震災時に必要性が高かった使用用途の順は、飲料水、トイレ、調理、洗濯、食器洗い、風呂、洗面、雑用であり、特に必要とした使用用途は飲料水とトイレの水であった。

現代の平常時の1人1日使用量と使用用途別の使用量を既存の研究文献⁷⁾から調べてみたところ、1977年の水使用機器の完備した団地の3DK世帯の実態調査では、1人1日使用水量は234ℓで、そのうちの使用用途別の水量は、風呂40ℓ(17%)、水洗便所37ℓ(16%)、台所45ℓ(19%)、洗濯70ℓ(30%)、洗面21ℓ(9%)、掃除9ℓ(4%)、雑用12ℓ(5%)という結果になっている。台所45ℓのうち、飲料水が2~3ℓ、残りの42~43ℓが炊事、食事片付けなどである。以上のことから、被災直後から必要とされた飲料水とトイレの2つの使用用途の水量は、平常時には1人1日当たり飲料水が2~3ℓ、トイレ用水が37ℓである。表-5のようにトイレを2回に1回流すことにより節約していたとしても1人1日当たり20ℓ程度の水が必

要であり、1世帯平均3人と仮定すれば、1世帯当たりでは60ℓ程度が必要であると考えられる。

2)水の確保手段

芦屋市で行われたアンケート調査結果には水の確保手段について、三つの段階を追ってまとめられている²⁾。これを整理したものを表-7に示す。

表-7 使用用途別の水の確保手段

用途	第1段階 (%)	第2段階 (%)	第3段階 (%)	
飲料水	飲料	ペットボトル 82	ペットボトル 61	ペットボトル 33
	調理	給水車 12	給水車 30	給水車 82
	食器洗い	避難所 6	避難所 13	避難所 4
		井戸水 6	井戸水 17	井戸水 2
		河川水 0	河川水 0	河川水 2
		その他 12	その他 13	その他 6
生活用水	洗濯	給水車 0	給水車 17	給水車 45
	風呂	避難所 0	避難所 4	避難所 2
	手洗い	上水道借用 0	上水道借用 0	上水道借用 2
		仮復旧水道 0	仮復旧水道 0	仮復旧水道 2
		井戸水 12	井戸水 13	井戸水 12
		河川水 6	河川水 4	河川水 2
雑用水	トイレ	再利用 12	再利用 9	再利用 22
	掃除	給水車 0	給水車 17	給水車 47
	放水	避難所 0	避難所 9	避難所 0
		上水道借用 0	上水道借用 0	上水道借用 2
		井戸水 6	井戸水 13	井戸水 16
		河川水 0	河川水 4	河川水 14
	その他 29	その他 22	その他 12	

第1段階(混乱期)：停電、断水などのために被災者が自力で飲料水確保に努力した期間

第2段階(緊急救援期)：電気が復旧し、給水車等で飲料水の最低供給がされた期間

第3段階(安定救援期)：救援活動が定着し、給水車の配置や水道の仮復旧による供給体制が整っていた期間

これより、給水車からの緊急給水が量的に十分でなかったことに対応するために、人々はまず、必要度が高く水質が問題となる飲料水などの用途に限定して充当し、他の用途には別の井戸・河川水という給水源を利用していただことが確かめられた。しかし、給水体制が整ってくると、平常時と同じく給水車からの水をどの用途にも使うように変化したことがわかった。

5. 過去の都市の水利用状況

(1)過去の都市の水供給と運搬^{8) 9) 10)}

a)江戸時代の江戸町人地の水供給と運搬

近世以前の日本の都市は、水を引きやすい丘陵の全面や河川周辺の地下水に恵まれた土地を選んで建設されることが多く、都市用水は堀抜井戸により賄われることが多かった。

江戸でも1590年頃から小石川上水の建設が始まり、1629年までには神田上水として完成、1654年に

は玉川上水が完成したとされている。上水は道路下に埋めた樋管から通りの各所に設けた溜枧に至り、そこから伏枧によって町内の上水用井戸に給水された。1655年には、表通りには約27mごとに消火用上水井戸を設置させる旨のお触れが出された。絵図によれば、大名屋敷の台所には上水井戸が設置されているが、町人地の裏長屋では20~30世帯が1つの上水井戸を共同で用いていた様子が描かれている。この場合上水井戸から最遠の長屋までの距離は約20~35mであり、図-1から20ℓずつ分割すれば80ℓ程度運搬できる。当時は共同便所、銭湯を用い、飲用・調理用以外に家庭で水を使わなかった。また洗濯や野菜洗いも井戸端で行っている。

さらに1722年に室鳩巢の進言により本所上水などの廃止が行われたが、それを受けて上方より井戸掘り技術の導入がなされ、堀抜井戸の建設が進んで、1814年頃には1町内に3~4カ所の堀抜井戸があった。最遠の長屋までの距離は約60mで、図-1より60ℓ程度の水は運搬できたと考えられる。なお銭湯には堀抜井戸があった。

当時市内には河川も多く残っていたが、町人地は感潮域に当たり下水も流れ込んでいたので飲用には用いられていない。なお河川までの平均到達距離は340mで運搬可能水量は7ℓ程度に過ぎない。

海面を埋め立てた隅田川の左岸の本所・深川地区には上水が供給されず、堀抜井戸の水も飲用には適さなかったため、水屋から買っていた。水屋は神田上水の余水を水船で運搬し、17ℓ程度の桶を2個天秤棒で担いで売り歩いた。以上のように江戸においては上水を飲料水に当てていたが、輸送に支障のない範囲に堀抜井戸があり、足りない部分は水屋で補うなど、バックアップ体制が存在していた。

b) 明治時代の東京の水供給と運搬

明治に入っても旧来の水道が引き続き使われていたが、樋管の腐食、下水の流入などで水質の悪化が著しかった。1877年のコレラ発生後に実施された水質調査では東京市内全域の上水井戸6421個の半数、堀抜井戸約3600個の60%の水質は飲用に適さなかった。平均すると飲料水の得られる井戸までの距離は

60mである。また1886年には44899個の堀抜井戸、7755個の上水井戸が飲用されていたが、3825個の水質試験の結果約80%が不適であった。飲用可能な井戸までの平均距離は46mとなる。本所・深川地区では80%の家庭が朝夕船で運搬する上水を買っていた。

1886年にコレラが大量発生し、近代水道の緊急性が認識されるきっかけとなった。1898年に東京でも浄水機能を持つ近代水道が開設され、3年後には旧来の水道の給水が停止した。近代水道は当初各戸ごとの専用栓よりも、利用料金が1/5で済む共用栓が用いられ、10戸程度に1つの共用栓があった。共用栓からの平均距離は8.4mで計画給水量は1戸当たり330ℓである。明治末にかけての市街地は水道の普及を越えて拡大し、つるべに代わる手押しポンプが登場して井戸も使われ続けた。関東大震災前の1921年頃になっても水栓数は全戸数の半数に過ぎず、約1割の家庭は井戸を使用していた。水栓から台所までの距離は約4mとなる。以上のように専用栓を持つ家庭でも台所に一つの水栓を持つのが一般的であり、近代水道整備後も水の運搬が必要な時期が長く続いた。

図-3に以上の状況を示す。

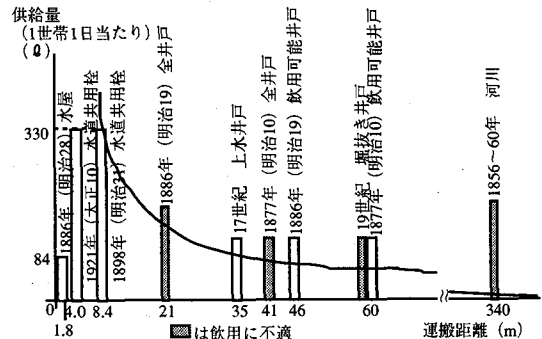


図-3 過去の江戸・東京における給水状況と運搬距離

図-2と図-3を比較してみると、震災時の神戸市の状況のほうが運搬距離についても水供給量についても圧倒的に厳しい状況にあったことがわかる。

(2) 過去における節水行動

過去の都市においては現代の水道のような安定した水質・水量の水源がなく、いくつかの水源に頼

らざるを得なかった。便所や風呂が各家庭になかったことなどから必要水量は小さかったが、上水の水は飲用・調理に使い、雑用水には井戸水を使うという使い分けが徹底していた。井戸端などの水場まで行って用事を行うことも運搬の必要性を小さくしていた。

6. 過去の水利用をふまえた震災対策

以上の分析から、震災時に行われた緊急給水は、30日後でさえ1世帯当たり10ℓの水量にすぎなかった。さらに、1世帯当たり必要な60ℓの水が供給可能であったとしても、その時点の給水点は各家庭から平均352m離れており、人力では7~8ℓ程度の運搬能力しかないため、必要な水量を緊急給水のみによって確保することは不可能である。これより、緊急時に最低限必要とする水量を入手可能にするためには現状の給水点の設置のまま給水量を増すだけでは不十分であり、運搬能力を踏まえた施設づくりや対応策が必要となる。

過去の水供給システムの最も注目すべき点は、過去の水供給システムには、通常利用している水源からの供給が途絶えても、それを代替する供給源がいくつかあったということである。江戸時代には、渇水時や大雨で上水井戸の水が濁って飲めないときなどは、堀抜き井戸がある家から水をもらったり、水屋から水を買うなどのバックアップ手段がとられた。上水井戸は河川の水を樋で引いてくるため、数ヶ月も立てば井戸の底にゴミや土砂が沈殿する。したがって、数ヶ月に1回は計画的に井戸を干し、ゴミや土砂を取り除く清掃が行われた。それに対応することができたのは、そのようなバックアップ体制があったからである。また、そのような経験をするにより、日常的に利用している上水井戸以外の水供給方法が広く認識されていて、渇水時や大雨で水が濁って飲めないときにも水を確保できた。

これに比較して、現代では、各家庭に水道が広く普及し、他の水源を利用する機会が少ないため、河川から水を汲める環境の整備や井戸の存在の認識がなされていない。そのため、今回のように水道シ

ステムが停止したときに、他の水源から速やかに水を手に入れることができないのである。

このことから、地域のなかにある水源の緊急時における利用可能性をあらかじめ調査しておくことが必要で、これが緊急時に非常に重要な情報になるであろう。また、飲み水として利用可能性がある井戸水、水量の豊富な河川水、小学校のプールなどは、緊急時の利用可能性を考慮にいれて整備すべきであると思われる。さらに、地域住民がそれらを水道システムのバックアップ手段として認識し、水道が停止した際にも速やかに対応がとれるようにすべきである。

[参考文献]

- 1) 佐藤方彦ほか：人間工学基準数値数式便覧，pp196~220, 304~306, 技報堂出版, 1992
- 2) 山田淳・藤井滋保・市木敦之：ライフラインの危機管理，阪神大震災復興計画に関する特別調査プロジェクト阪神大震災現地学術調査団報告会(5/13), 1995
- 3) 島谷幸宏・萱場祐一・房前和朋・保持尚志：大震災にみる河川の緊急給水・防災空間としてのポテンシャル，月刊「河川」，1995
- 4) 山田啓一：都市と水 - 災害時の用水確保を考える - ，都市問題 第87巻第7号，1996
- 5) 塩野計司・中林一樹・高野公男：震災対策資源としての井戸の実態調査，土木学会第50回年次学術講演会論文集，pp.210~211，1995
- 6) サンケイリビング新聞社：阪神大震災主婦115人の証言，pp144~157，扶桑社，1995
- 7) 高橋裕：水のはなし ， pp38~39，技報堂出版，1982
- 8) 堀越正雄：水道の文化史，鹿島出版会，1981
- 9) 小木新造・陣内秀信：江戸東京学への招待 [2] 都市誌篇，pp171~177，日本放送出版協会，1995
- 10) 榮森康治郎：水と暮らしの文化史，pp12~18, 82~86, 135~190，TOTO出版，1994