

雨水利用による被災地における生活用水不足の解決に向けた一考察 ～ 平成 28 年 熊本地震の被災地調査から ～*

笠井 利浩^{*1}, 近藤 晶^{*2}

A Study on the Solution of Lack of Living Water in Affected Areas by Using Rainwater - Report from the Disaster Area Survey of the 2016 Kumamoto Earthquake -

Toshihiro KASAI^{*1} and Sho KONDO

^{*1} Department of Environmental and Food Sciences

In this study, we discussed rainwater utilization at the time of a disaster from the result of the survey of disaster areas about 2.5 months after the 2016 Kumamoto earthquake. At the time of a disaster, the water supply is cut off and living water such as toilet washing water is short. As a result, the sanitary condition of the evacuation shelter will be poor. The rainwater utilization in an evacuation facility is one way to solve such problems. By installing a rainwater storage tank about 10 m³ in a school gymnasium, evacuees can flush toilet once or twice a day. Therefore, rainwater utilization system should be installed in the evacuation facility.

Key Words : Rainwater Utilization, Disasters, 2016 Kumamoto Earthquake

1. 緒 言

日本は、世界における地理的な位置条件や気象等の自然的条件から、地震や台風等による災害が発生しやすい国土になっている。災害の中でも地震に目を向けてみると、世界全体におけるM7以上の地震発生回数の8.8% (1900～2016年) が日本周辺で発生しており、世界の0.25%の国土面積に比して非常に高い (Fig. 1) ^(1,2)。一般的に日本は地震国であると言われているが、このデータからも地震の多い国である事が分かる。また、日本国内には全域に約2000もの活断層が散在しており (Fig. 2^(3,4))、全ての地域において地震対策を行わねばならない。災害発生時の初動として重要なのは勿論人命救助であるが、その次の大きな問題としてライフラインの確保・復旧が挙げられる。ライフラインには水道、電気、ガス等があるが、特に重要なのは「水」である。電気等も快適な生活を行うためには重要なものであるが、水は生命を維持する上でも無くてはならない物質である。

国内では過去に幾つもの巨大地震が発生してきたが、1995年に発生した兵庫県南部地震 (以下、阪神・淡路大震災) は、大都市に大きな被害をもたらした地震の典型例であり、建築基準法の改正や国内における防災意識の高まりにも大きな影響を与えた⁽⁴⁾。阪神・淡路大震災後の神戸市における上水道の通水率を、Fig. 3⁽⁵⁾に示す。地震発生後の断水から通水率が50%に達するのに約10日、ほぼ全戸に通水するのには約2ヶ月を要していることが分かる。この期間、断水が続く地域では使用時に多量の水を使用する水洗トイレが通常通りに使えず、仮設トイレ等を使用して用を足していたことが推測される。

本報では、2016年4月に発生した熊本地震後に行った被災地調査を基に、震災時における生活用水の問題を考察する。また、我々が提案する避難所における雨水を水源とした生活用水給水システムについて紹介すると共に、雨水利用による災害時の水問題解決方法について考察する。

* 原稿受付 2017年2月28日

^{*1} 環境情報学部 環境・食品科学科

^{*2} 環境情報学部 デザイン学科

E-mail: kasai@fukui-ut.ac.jp

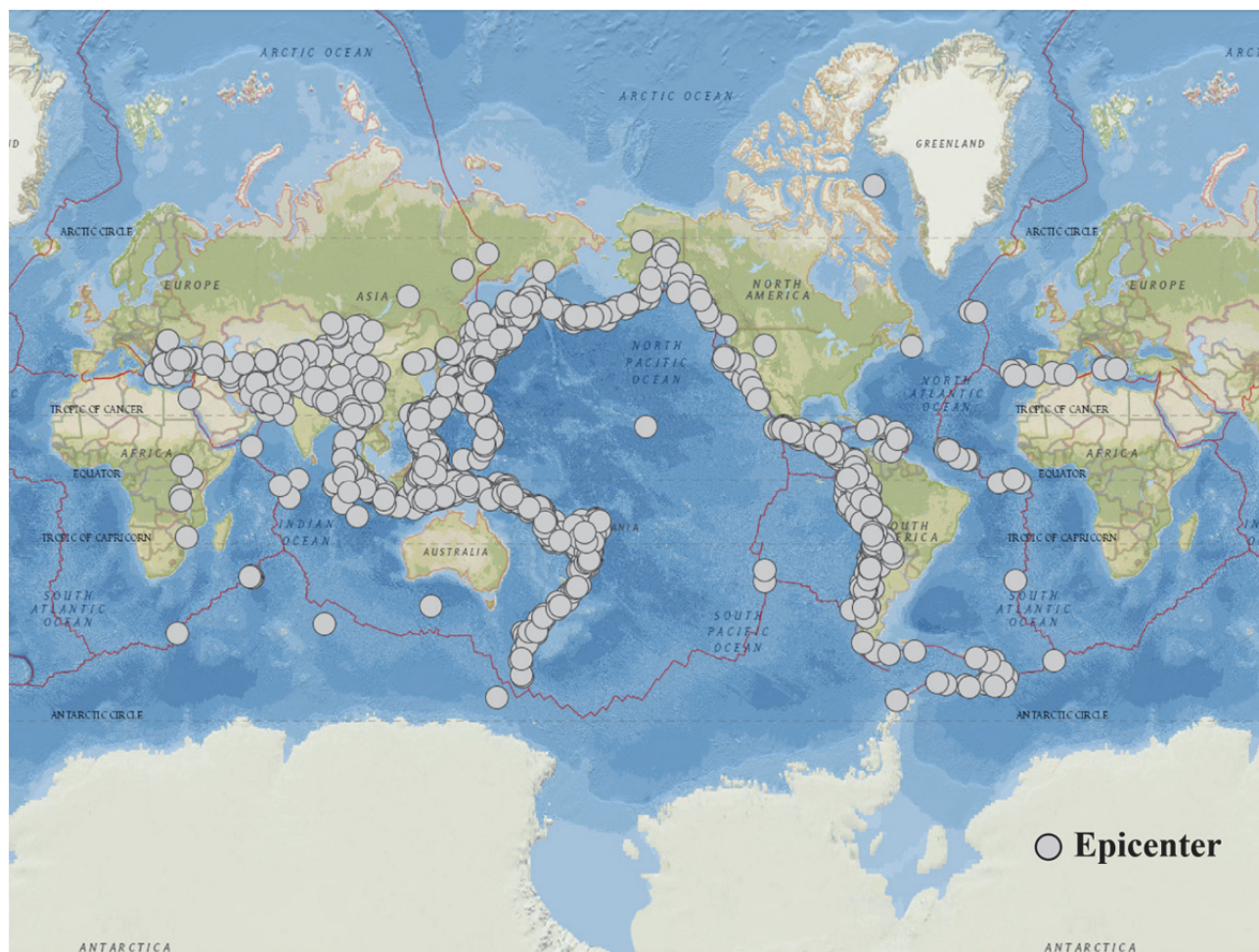


Fig. 1 Places where earthquakes of M 7 or more occurred in the past⁽²⁾

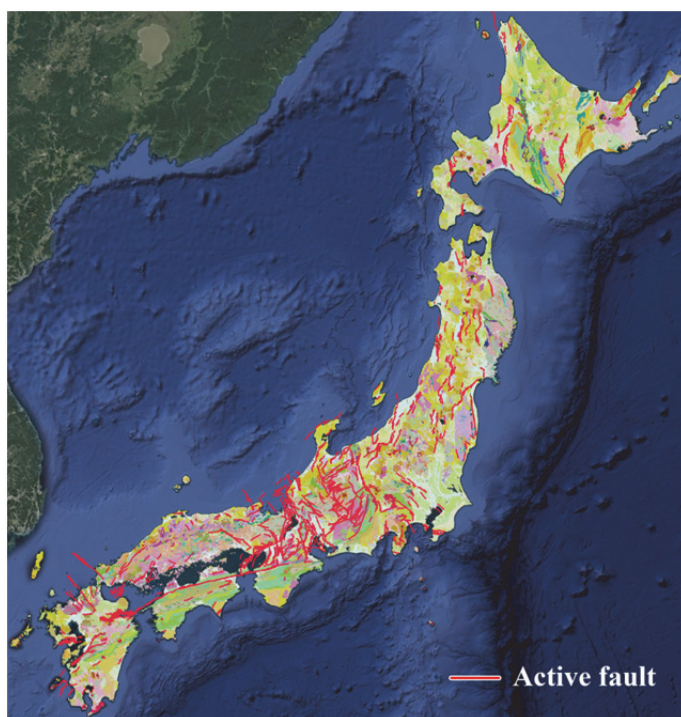


Fig. 2 Active faults in Japan⁽³⁾

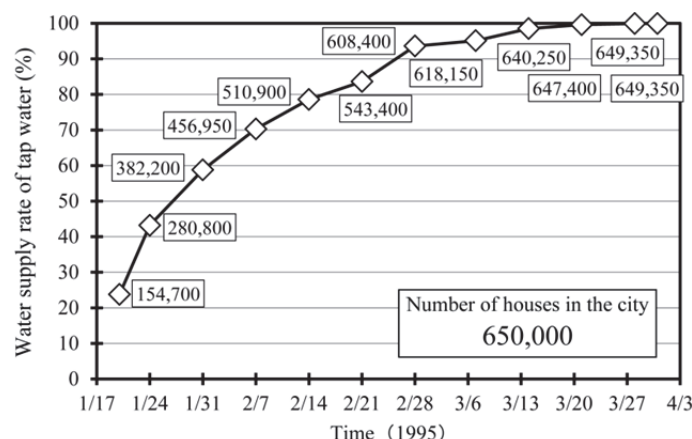


Fig. 3 Trends in restoration of tap water in Kobe City at the time of the Great Hanshin-Awaji Earthquake of 1995⁽⁵⁾

2. 熊本地震の概要

熊本地震は、主に2016年4月14日に発生した熊本地方を震央とするM6.5の前震と、その28時間後の4月16日に発生した同地方を震央とするM7.3の本震からなる地震である。この地震の特徴は、地震は初めに本震があり、その後の地震は初めの地震より小さな規模の地震(余震)がくるとい一般的な地震活動とは大きく異なる点である。この地震のように、内陸型地震でM6.5以上の地震の後にさらに大きな地震が発生するのは、国内で地震観測が開始された1885年以降で初めてのケースであり、また一連の地震活動において震度7が2回観測されるのは、1996年に気象庁震度階級が制定されて初である⁽⁶⁾。このように、2回連続で強い揺れが家屋を襲ったことで1度目の揺れにかろうじて耐えた家屋が2回目の揺れで倒壊し、その際に屋内に居た人が亡くなるという被害も多く見られた。

熊本地震で発生した、一連の熊本地方～阿蘇地方～大分県中部(別府)での震央分布と断層を、Fig. 4に示す。熊本地震の特徴は上述以外にもあり、隣接する断層帯が連動してさらに広い範囲で地震が起こる連動型地震を誘発している点が挙げられる。このようなケースは希であり、国内の近代観測史上初のケースとされている⁽⁶⁾。熊本地方の前震と本震による特に震度の高かった市町村は、前震(震度7: 益城町、震度6弱: 玉名市、西原村、宇城市、熊本市、嘉島町)、本震(震度7: 西原村、益城町、震度6強: 南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市、震度6弱: 阿蘇市、八代市、玉名市、菊陽町、御船町、美里町、山都町、氷川町、和水町、上天草市、天草市)であり、特に益城町の震度が大きかった事が分かる⁽⁶⁾。

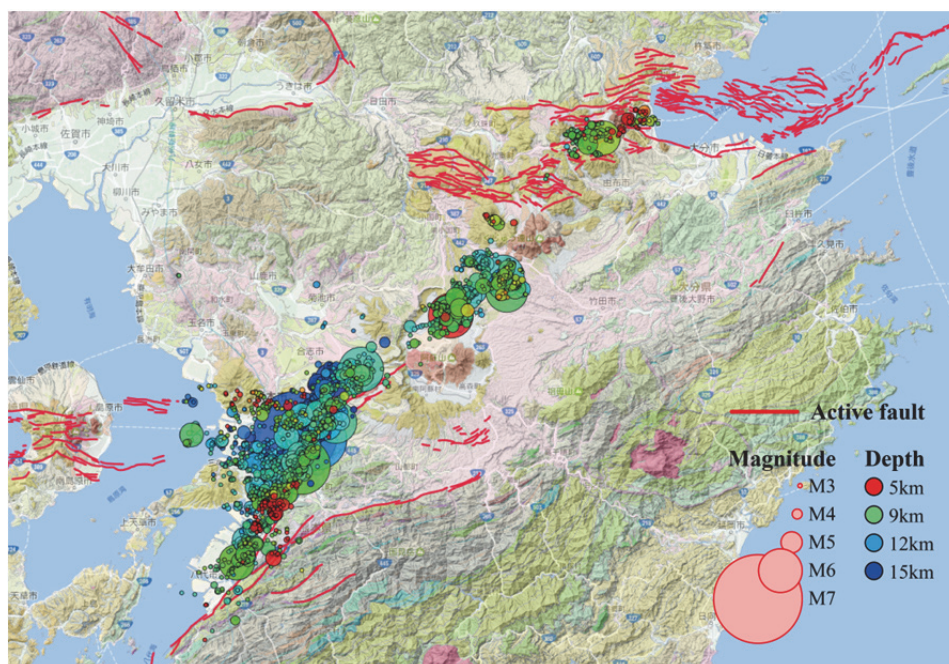


Fig. 4 The active faults of the Kyushu area and epicenters of the 2016 Kumamoto earthquake⁽³⁾

3. 熊本地震被災地調査

熊本地震による死傷者は、2017年2月21日現在で直接死50名、関連死149名であり、避難生活によるストレス等による地震後に亡くなる人数が多いことが分かる。この関連死には、車中泊によるエコノミークラス症候群によるものや生活用水の不足による衛生管理が不十分な避難所での生活によるストレス等が原因として挙げられる。このことから、非常事態下で多くの人々が狭い空間で生活する場合には、特に生活用水不足による衛生管理の問題が大きいことが分かる。以上の背景から、避難生活における生活用水の問題点を明らかにする事を目的とした被災地調査を熊本地震から約2.5ヶ月後（2016/7/1～7/3）に実施した。今回行った調査地点を、Fig. 5に示す。震央のあった熊本市内を中心に、熊本地震で最も震度の高かった益城町および大津町にある避難施設や災害ボランティアセンター等を訪問し、聞き取り調査を行った。

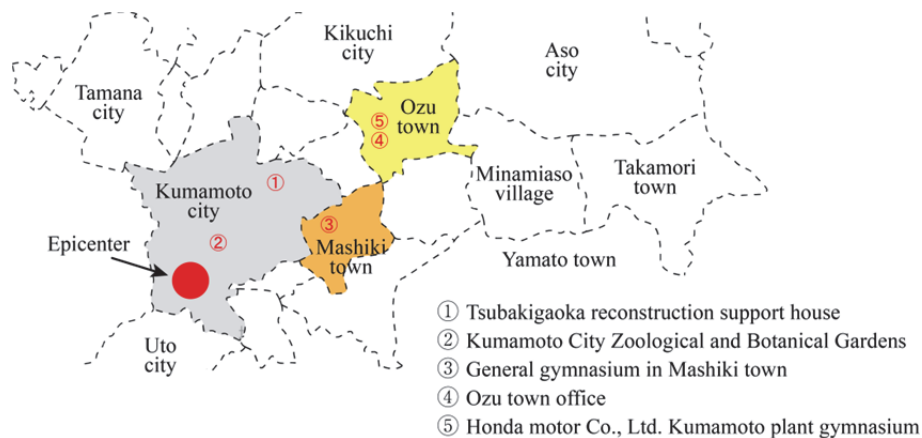


Fig. 5 Survey points of areas damaged by the Kumamoto earthquake 2016 that occurred during the period of 2016/7/1 to 7/3

3.1 熊本市内（北区椿ヶ丘団地、熊本市動植物園）

震災ボランティア等の他地域からの交通や被災状況から、復興活動の中心地域となった熊本市内の各地点の調査結果を以下に述べる。

・北区椿ヶ丘団地

熊本市北区にある椿ヶ丘団地には、九州大学の島谷教授や福岡の女性建築士らが共同で設置した椿ヶ丘復興支援ハウス⁽⁷⁾（以下、支援ハウス）がある。ここでは、熊本市北区龍田で被災された地域の方々に寄り添いながら様々な支援を行っており、女性建築士による震災で傷んだ家屋の修復等に関する相談や地域の復興に取り組んでいる。このグループは他にも流域治水をベースとする雨水活用に関する団体（あまみず社会研究会⁽⁸⁾）活動も行っており、支援ハウス玄関横にも数多くの雨水タンクが置かれていた（Fig. 6左写真，家屋玄関右横）。今回の調査では、同行して頂いた角銅久美子氏（一級建築士）も支援ハウスの中心メンバーであるため、この施設での活動内容や近隣住宅の損壊状況について話を聞いた。なお、上述の雨水タンクは断水時の水源として雨水を利用する際に用いられたとのことであった。

熊本市内における地震の影響は、熊本城が街のシンボリックな存在であることからメディア等で損壊状況について取り上げられてきた。しかしながら、同市内には地域の地盤や断層との位置関係によって、特に家屋の損壊が激しい地域があった。椿ヶ丘団地はその一つであり、団地内にはFig. 6右の様にほぼ全壊状態の家屋も見られた。一方で、同団地内にも椿ヶ丘復興支援ハウスのように被害が少ない家屋もあった。この差は、家屋の構造と土地の造成方法（切土、盛土）によって大きく異なる事が分かった。



Fig. 6 Tsubakigaoka reconstruction support house and its surrounding streets after the earthquake

・熊本市動植物園（熊本市災害ボランティアセンター）

熊本市動植物園には訪問当時、熊本市災害ボランティアセンターが設置されており、他地域等からのボランティアの受け入れや内容や活動先の采配が行われていた。このボランティアセンターの運営は、札幌市にあるNPO法人ファシリテーター・フェローズ⁽⁹⁾が運営しており、その担当者に聞き取り調査を行った（Fig. 7）。この担当者は、地震発生後直ぐに現地入りし、ボランティアセンターの立ち上げや運営に携わっており、様々な話を聞くことができた。被災地の水に関する問題として、ペットボトルで賄うことが可能な飲料水は被災後比較的早い段階で確保する事ができるが、やはり衛生状態の維持に必要な生活用水の確保が挙げられていた。避難所はどうしても水が不足しがちであり、トイレ洗浄や手洗い用水が足りなくなる。その結果、衛生面の問題が発生し、実際に熊本市内でも避難所でのノロウイルスへの集団感染が発生しており、また何故か何時も同じ避難所で発生するとの事であった。これについては、避難所に雨水タンクがあれば、自衛隊などの給水車で運ばれてくる貴重な（安心して飲用できる）水をトイレ洗浄に使う必要もなくなり、効果的な給水体制が整えられる可能性があるとの情報を得た。このボランティアセンターでは、テントの固定用アンカーに使っているポリタンク内の水に、降雨時にテントから流れ落ちる雨水を利用されていた。しかしながら、雨水自体を水資源として捉えるには至っておらず、我々から被災時の生活用水としての雨水利用の可能性を提案した。



Fig. 7 Hearing survey at Kumamoto city disaster volunteer center

3.2 熊本県益城郡益城町（益城町総合体育館）

熊本地震で最も大きな揺れ（震度7）があり、大きな被害を受けて各メディアで頻繁に報道された熊本県上益城郡益城町に向かった。益城町内の家屋の多くは大きな被害を受けており（Fig. 8）、町内には瓦礫を載せたトラッ

クが往来するものの、被災時の状態がほぼそのまま残っていた。避難所における生活用水の聞き取り調査を行うため、テレビ等でも報道されていた町の中心的な避難施設である益城町総合体育館（Fig. 9^(10,11)）、最大避難者数：約1300名、訪問当時の避難者数：約850名）を訪問した。訪問当時、同体育館のメインアリーナには整然と避難者用のスペースが設置されており空調も行き届いていた。しかしながら被災直後は天井が崩落し、アリーナ全面に天井パネル等が散乱している状態であった。その後、熊本YMCAと社会奉仕団体ワイズメンズクラブが連携してボランティア約150名を集め、片付けと空調の効果を高める天幕（手縫）を設置していた⁽¹¹⁾。この施設の担当者によると、地震直後は避難所も相当大きな被害を受けて断水が続き、仮設トイレを70基配置して使っていたが、そのための水の確保に困っていたとの話があり、その状況は約1ヶ月半程続いたとのことであった。また、この断水によるトイレの問題は、比較的早い時期に外部からの支援が受けられる避難所よりも戸建住宅の方が深刻であり、益城町においては今後の建物の取り壊し等も考えて、地震発生から約2ヶ月半後の訪問当時においても上水給水が復旧していない家屋が数多く残っているとのことであった。このことから、メディア等に取り上げられにくい個人宅における水問題が潜在的に多く発生している可能性が推測される。



Fig. 8 Afflicted houses in Mashiki town after the earthquake



Fig. 9 Evacuation shelter: a general gymnasium in Mashiki town^(10,11)

3.3 熊本県菊池郡大津町（大津町役場、本田技研工業株式会社 熊本製作所体育館）

前述の益城町に隣接する大津町を訪問した。大津町は熊本市のベッドタウンであり、本田技研工業株式会社等の企業城下町として人口が増加している。しかしながら、今回の地震では町内で全半壊合わせて約1,000棟の家屋が損壊しており、大きな被害を受けている。

・大津町役場

大津町役場の防災担当課で、聞き取り調査を行った。この町には本田技研工業株式会社 熊本製作所があり、今回の地震による避難所として同事業所の体育館も使用されていた。担当課の職員によると、地震直後は町役場においてもトイレ洗浄用水の問題が発生し、地元消防団の協力で役所の防火水槽の水等を汲んで流していたとの事である。多くの住民の避難所となった小学校等では、プールの水をトイレ洗浄に用い、各人がトイレに行く度にバケツ一杯分の水を汲んで行き、その水で流していたとの事であった。しかしながら、個人住宅においてはプールや防火水槽から水を持って行くわけにはいかないため、排泄は避難所で済ませていたと考えられる。

・本田技研工業株式会社 熊本製作所体育館

本田技研工業の体育館（Fig. 10⁽¹²⁾）では、毎日交代制で避難所を担当されている大津町役場の職員（女性）に対応して頂いた。大津町全体での傾向として、公設の避難所は役場に近いこともあり、比較的早い時期に上水道は復旧したが、隣の南阿蘇村では地震発生から2ヶ月半以上経つ調査当時でも復旧していない場所もあった。その一方で、対応して頂いた職員（女性）から、今回の地震での自宅における以下のような経験談を聞くことができた。この職員が2年程前に自宅を建てた際に、建設した住宅メーカーがサービスで雨水タンクを設置していた。当初、ガーデニング等の趣味も無く、何時役に立つのかと思われていたとのことであったが、今回、断水時にトイレ洗浄用水として重宝した。自宅周辺の住人からも雨水タンクが設置されている事を羨ましがられ、その方の両親は雨水で洗濯も行っていたとの事であった。今回の地震で、雨水が断水時に役立つものであることが分かったが、トイレの度に手動で汲みに行くのは大変であり、自動で給水される仕組みが必要であるとの情報を得た。



Fig. 10 Shelter: Honda Motor Co., Ltd. Kumamoto plant gymnasium⁽¹²⁾

3.4 考察

以下に、今回の熊本地震被災地調査で得られた情報を纏めると共に、被災地における生活用水不足の問題について考察する。全ての調査地点において共通する被災地問題の一つとして、大地震発生後には断水によって生活用水が不足し、最も基本的な飲食や排泄の処理が十分に行えないことが挙げられる。生活用水の中でも飲食に関わる部分については、要求される清浄性や量からペットボトルでの配布や可能であれば給水車による給水が適切である。しかしながら、手洗い、用具等の洗浄やトイレに必要な比較的水量が要求される用途水は、被災地域以外から給水することは量的に困難であり、各地域で確保しなければならない。今回の調査の中では、避難所となった本田技研工業株式会社 熊本製作所体育館に派遣されていた大津町役場の職員（女性）が、被災時に自宅で行った雨水利用の話しが印象的であった。このことから、数百ℓ程度の雨水タンクであっても非常時には大きな効果を発揮することが分かった。しかしながら、より効果を高めるためには、貯水容量の増加や貯留雨水の送水方法の検討が必要である。

4 避難所における雨水利用の可能性

雨水利用は、本質的には“屋根に降った雨水をタンク等の容器に溜め、何らかの用途に使う”という非常にシンプルな技術である。飲用レベルの雨水利用を考えた場合には大気中の汚染物質等を含む初期雨水等の問題から、その対策に要する設備が必要になるが、雨水の用途に合わせたシステムを構築することで有用なシステムとなる。被災時の雨水利用に何を求めるかは様々であるが、投資に見合う効果を考えた場合には初期消火やトイレ洗浄用等のあまり高い水質レベルが要求されないが、水量が求められる生活用水等への利用が特に有効である。屋根面積や地域の降水量によって異なるが、戸建住宅の屋根面上には年間に100～数百 m^3 もの雨が降り注ぐ。また、被災時に地域の避難施設となる学校の体育館等は、一般的に数千 m^2 の屋根面積がある。日本の年平均降水量（約1,700mm）から概算すると、このような施設の屋根面には年間2,000～1,500 m^3 もの雨水が降り注いでいることになり、災害時の水源としてだけでなく、水資源の確保や環境配慮の観点からも雨水利用を推進する必要がある。

避難施設における生活用水給水用雨水活用システムの概念図を、Fig. 11^(13,14)に示す。地震等の被災時に大きな問題になる項目の一つにトイレに関する問題がある。避難生活において特にトイレが使用できない状況が続くと衛生面や健康面などに様々な悪影響を及ぼし、避難生活が長期化するほど大きな問題となる。従って、被災時の対策として給水、食料、日用品などの供給問題だけではなく、トイレ対策も重要な課題として検討する必要がある。このシステムは、学校の体育館等の屋根を利用して雨水を集水し、雨水貯留槽に貯水してトイレ洗浄用水や手洗いなどの雑用水を供給するものである。平常時におけるトイレ洗浄水は下水道の普及率から考えると下水道に流すのが一般的であるが、大規模な地震の際には上水道と共に下水道も損壊する恐れが高い。従って、本システムで洗浄用水を供給するトイレについては、浄化槽を使って汚水を浄化するものとし、平常時は下水道に、非常時は流れを切り替えて河川などに放流するようになっている。浄化槽に必要なエアレーション用ポンプと雨水送水用ポンプに必要な電力は、小規模な太陽光発電と蓄電池によって供給する。必要とする電力は限定的であり、太陽光発電－蓄電システムにかかる経費も比較的少なく抑えることができ、新たに本システムを導入する際の費用面での負担は少ない。

避難所における雨水利用によるトイレ洗浄可能回数を、Fig. 12⁽¹⁴⁾に示す。この図は、福井市内の避難所の情報を基にシミュレーションによって求めた結果を表したものである。避難所の規模によって最適な貯水槽容量は変化するが、全体的な傾向から考えた場合、貯水槽容量が最も小さい10 m^3 の場合でも、多くの避難所で1日に1人当たり1回以上のトイレ洗浄が可能となることが分かる。この回数が多いか少ないかは考え方による。避難生活を考えると、小用時には洗浄せず、大用時のみ洗浄する等の工夫をすることで十分実用になると考えられる。雨水活用は単なる水道水などの貯水槽とは異なり、被災時においても降雨があれば貯留槽内の貯水量が増えるという特徴がある。従って、避難生活が長期に渡っても継続的に稼働させることができ、防災対策として有効な手段である。

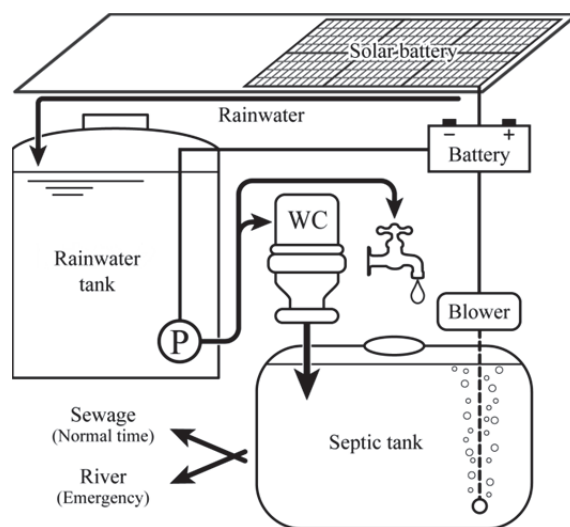


Fig. 11 Schematic diagram of rainwater use at evacuation centers^(13,14)

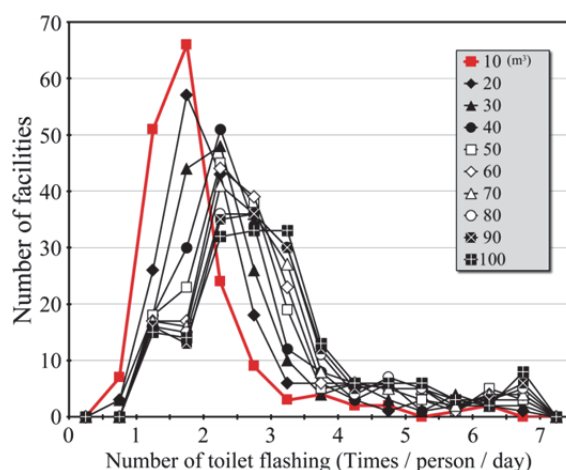


Fig. 12 Schematic diagram of rainwater use at evacuation centers⁽¹⁴⁾

5. 結 言

今回行った熊本地震被災地調査の結果からも、被災時における生活用水確保の重要性が改めて分かった。特に安心して飲用できる水が少ないことから、あまり高度な清浄度が求められないトイレ洗浄用水等に飲用レベルの水を利用するのは、その消費量からも極めて効率が悪い。従って、本田技研工業体育館避難所の担当者からも聞くことができた、被災時の雨水利用についても今後は水資源の一つとして選択肢に入れるべきである。この事は、学校等の避難所における雨水利用によるトイレ洗浄可能回数に関するシミュレーション結果からも、明らかである。平成26年5月に「雨水の利用の推進に関する法律」が施行され、その中で“国は、国及び独立行政法人等が建築物を整備する場合における自らの雨水の利用のための施設の設置に関する目標を定め、地方公共団体及び地方独立行政法人は建築物を整備する場合における自らの雨水の利用のための施設の設置に関する目標を定め、及び公表するよう努めるものとする”と目標が掲げられている。今後、避難所となるような施設に雨水利用施設が普通に導入され、日常の水資源の確保と合わせて非常時の給水問題の解決に役立つことを願う。

謝 辞

今回、熊本市北区の椿ヶ丘および益城町周辺の熊本地震被災地調査に同行して頂いた、角銅久美子氏に感謝します。また、各視察先で対応して頂いた各種団体職員の方々に感謝します。

文 献

- (1) 内閣府(2006)：平成18年防災白書，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h18/index.htm> (2016/11/12)。
- (2) Search Earthquake Catalog：<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (2016/11/12)。
- (3) 産業技術総合研究所/地質調査総合センター：“地質図 Navi”，<https://gbank.gsj.jp/geonavi/> (2017/2/12)。
- (4) Wikipedia：“地震”，<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E9%9C%87> (2016/11/12)。
- (5) 神戸市水道局(1995)：“阪神・淡路大震災 水道復旧の記録（速報）”，神戸市水道局庶務課，p.8。
- (6) Wikipedia：“熊本地震”，[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%86%8A%E6%9C%AC%E5%9C%B0%E9%9C%87_\(2016%E5%B9%B4\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%86%8A%E6%9C%AC%E5%9C%B0%E9%9C%87_(2016%E5%B9%B4)) (2017/2/12)。
- (7) 椿ヶ丘復興支援ハウス：<http://tubakifsh.wixsite.com/tubakigaoka> (2017/2/28)。
- (8) あまみず社会研究会：<http://amamizushakai.wixsite.com/amamizu> (2017/2/28)。
- (9) 特定非営利活動法人ファシリテーター・フェローズ：<http://www.facili.jp/> (2017/2/28)。
- (10) キムカズ発信：“益城町&西原村”，<http://kimukazu.me/archives/11705> (2016/11/12)。
- (11) 熊本みなみワイズメンズクラブ：“益城町総合体育館避難所布天井”，<http://minami-ys.info/?p=3569> (2017/2/12)。

- (12) 日本リザルツ公式ブログ : <http://resultsjp.sblo.jp/article/175575912.html> (2016/11/12).
- (13) 笠井利浩, 前川翔太(2014): “避難施設における雨水活用装置によるトイレ洗浄用水給水能力に関する研究”, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演会研究発表梗概集, pp.613-614.
- (14) 前川翔太, 笠井利浩(2015): “降水パターンを考慮した雨水活用装置によるトイレ洗浄用水給水能力の検討”, 2015 年度日本建築学会大会 (関東) 学術講演会研究発表梗概集, pp.563-564.

(平成 29 年 3 月 31 日受理)