

# 災害時における効率的な応急給水方法に関する 研究：弥富市のケース

沖山 健太<sup>1</sup>・山本 俊行<sup>2</sup>・伊藤 秀行<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 名古屋大学学生 工学部環境土木・建築学科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)  
E-mail: okky0907@gmail.com

<sup>2</sup> 正会員 名古屋大学教授 未来材料・システム研究所 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)  
E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>3</sup> 非会員 減災ロジスティクス研究所 (〒480-0103 愛知県丹羽郡扶桑町柏森天神 287-2)  
E-mail: pi0001@h3.dion.ne.jp

本研究では、災害時の在宅避難を想定した弥富市の応急給水方法について検討を行う。タンク給水・運搬給水・仮設給水の 3 つの給水方法を検討した結果、タンク給水が、給水可能人口・給水拠点まで水を取りに行く距離という 2 つの観点において重要な役割を果たしていることが明らかとなった。また、効率的な応急給水方法として、1, 2 日目はタンク・仮設給水, 3 日目はタンクが空になるため運搬・仮設給水を利用する方法を提案した。特に、3 日目の運搬給水については、5 台の給水車があれば全住民に給水可能となることが明らかとなった。さらに、タンク給水の給水拠点を 1 つ増設した場合についても検討し、さらなる効率性向上が可能であることを示した。

**Key Words:** emergency water supply, humanitarian logistics, transportation water supply, temporary water supply, tank water supply, water supply base

## 1. 序論

### (1) 研究背景

日本列島の南側にある、駿河湾から日向灘沖までのフィリピン海プレートとユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形を南海トラフと呼び、南海トラフを震源とする「南海トラフ地震」の発生が危惧されている。南海トラフ地震は概ね 100 年から 150 年の間隔で繰り返し発生しており、前回の南海トラフ地震である昭和東南海地震(1944 年)及び昭和南海地震(1946 年)が発生してから 70 年以上経過した現在では、次の南海トラフ地震の切迫性が高まっている。気象庁によると、今後 30 年で南海トラフを震源とするマグニチュード 8 から 9 クラスの地震が 70% から 80% の確率で発生すると予想されている<sup>1)</sup>。内閣府は、この地震が発生した際の被害想定は、死者 32 万人、避難者数 950 万人と予想している。また、愛知県での避難者数は 235 万人と想定されている。

その一方で、従来の避難所への避難を行わない避難形態も議論されている。その理由としては、以下のものが

挙げられる。まず 1 つ目が、2019 年より発生した新型コロナウイルス感染症によって、全国の避難所は感染防止対策を求められていることである。NHK は、首都圏における十分な感染対策が行われている状態の避難所の収容可能率は、本来の 24% まで低下すると算出している。次に 2 つ目が、住宅の耐震化率の上昇である。ヤマト住建によると、耐震化住宅とは、震度 5 程度の揺れに対しては構造躯体に損傷を生じず、震度 6 強から震度 7 程度の揺れの場合にも倒壊しない住宅のことである<sup>2)</sup>。国土交通省は、平成 30 年における全国の住宅耐震化率は約 89% であり、令和 7 年には耐震性の不足する耐震診断義務づけ対象建築物をおおむね解消するという目標を立てている<sup>3)</sup>。その他にも、プライベート空間の重要視などの要因により、避難所への避難を行わない選択をする人が増加する可能性は十分にある。

人々が避難所以外への避難をすると想定した場合、飲料水についての議論も必要になる。大災害、特に地震が起こった際には水道管が断裂し、断水状態になる可能性があるため、本研究では、その際にどのように飲料水を

確保するかという点に着目した。国や自治体からの飲料水支給方法としては、避難所への飲料水の供給がほとんどであり、在宅避難者は避難所まで水を取りに行く必要がある。現在、避難所への避難行動に関する対策や意識調査などは行われているが、避難所への避難を行わない避難形態に対しての議論は十分ではない。実際に避難所以外の避難形態が選択される可能性が十分にある現在において、災害時の避難所以外に避難する人のための給水方法について検討することは、受水行動の迅速化と給水方法の効率化を行うためにも必要であるといえる。

また、弥富市では災害時の応急給水を海部南部水道企業団と弥富市の 2 団体が請け負っており、給水のための器具や給水方法など、それぞれ別に存在する。しかし、共同となつての応急給水計画は用意されておらず、総合的な応急給水計画が必要である。

## (2) 研究目的

本研究は、愛知県弥富市を対象として、南海トラフ地震等の大規模災害時の在宅避難を想定した、効率的な応急給水方法について検討することを目的とする。発災後 3 日目までの 1 日 1 人あたり 3L の給水に焦点を当て、タンク給水・運搬給水・仮設給水という 3 つの給水方法がそれぞれ使用可能・不可能な 8 パターンから、3 つとも使用不可能な 1 パターンを除いた計 7 パターンについて検討する。それぞれのパターンにおいていくつかの評価指標を設け、比較検討を行った。

また、各給水方法の給水能力と給水拠点まで水を取りに行く距離という点において比較を行い、給水拠点を増やすことで得られる効果についても検討を行った。

## (3) 先行研究と本研究の位置付け

松本ら(2016)は、愛知県豊田市中心部を対象として、GIS を用いて応急給水量及び作業量を考慮した、1 日で運搬給水が行える地区数を算出している<sup>4)</sup>。また、被災者全員に水を配るために必要な給水車の台数についても検討されている。ここでは、応急給水の方法として運搬給水を採用しており、避難の際には全員が避難所にいると仮定している。また、大西ら(2012)は、東日本大震災の事例を対象として、広域災害時の応急給水能力に関する考察を行っている<sup>5)</sup>。応援側の給水車派遣能力と受援側の応急給水能力について検討しており、実際の災害の際には、応援側・受援側ともに、職員の不足、通常業務の継続性が原因で十分な応急給水ができないと判明した。また、秋月ら(2020)は、広域災害時の医療現場における断水対応に関する研究を行っており、その中で医療現場における給水車の必要性の大きさについて述べている<sup>6)</sup>。

松本らが運搬給水のみでの応急給水について検討していることに対し、本研究では弥富市が災害時の給水方法と

して計画している運搬給水・仮設給水・タンク給水の 3 つの給水方法を検討し、それぞれが使用可能・不可能な場合について検討した。それぞれの場合において、給水能力を評価するための評価指標を設定し、比較検討を行った。また、大西ら<sup>5)</sup>の考察から、本研究では給水の際にかかる人的要因による作業時間も含めた検討を行っている。現在の弥富市の給水計画を分析し、水を取りに行く距離という点において効率的な応急給水方法の提案を行った。また、秋月ら<sup>6)</sup>の研究より、弥富市が所有する 2 台の給水車のうち、1 台は常に海南病院に使用すると仮定し、運搬給水は給水車 1 台で行うと仮定している。

## 2. 弥富市の応急給水計画についての概要

具体的な検討内容の説明の前に、弥富市の応急給水計画の概要といくつかの用語の説明をここで示す。

### (1) 応急給水計画の概要

弥富市では、災害が発生した際には、各避難所に備蓄している 6L または 10L の簡易給水用袋を被災者に配布し、各給水拠点からその袋の中に注水することで応急給水を行う。給水拠点としては、指定の配水場・40t タンク・運搬給水拠点・仮設給水拠点のいずれかを使用する。また、各給水拠点の稼働時間は、朝 9 時から夕方 17 時までの 8 時間とした。

### (2) 発災後 3 日後の給水量

発災後 3 日間で必要な水分量は、生命の維持に必要な最小水量とされており、1 日 1 人あたり 3L とされている。家庭に備蓄されている水と、市からの応急給水でこの水量を確保しなければならない。

今回の研究では、発災後 3 日間は外部からの支援がなく、その地域で水分を賄う必要があるというシナリオを想定しているため、発災後 3 日間を考慮している。4 日目以降については、避難応援態勢が整い、別の地域から給水の援助を望めると考えているため、生命の維持に必要な水量を確保しなければならない 3 日目までの方が検討の必要性が高いと考え、発災後 3 日間を考慮している。4 日目以降は必要な水量が 6 倍以上に増加するため、水道管の復旧や給水車の確保が優先的に行われるべきであり、実際に被災した時には課題となると考えられる。

### (3) 運搬給水

運搬給水は、配水場から運搬給水指定の避難所に水を給水車によって運び、給水する方法である。海部南部水道企業団は容量 2t の給水車を 2 台所有しており、弥富市指定の配水場で給水車に水を注水し、そこから 5 つの運

搬給水拠点に給水する。運搬給水拠点は、弥富市が指定する 13 箇所の避難所のうちの 5 箇所となっており、各運搬給水拠点には 1t の簡易タンクが設置されている。2t の給水車から 1t のタンクに給水するため、給水車は 2 つの運搬給水拠点を經由した後、再度配水場で水を補充するという形になる。今回の研究では、弥富市が所有する 2 台の給水車の内、1 台は海南病院に常時使用すると仮定している。

#### (4) 仮設給水

仮設給水とは、地下の水道管から応急給水栓を通して水をくみ上げ、給水する方法である。弥富市には、愛知県所有の水道管と、弥富市所有の水道管が整備されており、愛知県所有の水道管がほぼ耐震管となっているのに対し、弥富市の水道管は耐震管率 25.6% である。耐震管とは、今後発生すると考えられる地震動において、管路の破損や継ぎ手の離脱等の被害が軽微な管のことである。弥富市にある仮設給水拠点は 5 か所あり、その全てが愛知県所有の水道管から給水される。

#### (5) タンク給水

タンク給水とは、予め設置されたタンクから給水する方法である。弥富市は 40t タンクを 6 つ所有しており、災害時にはそのタンクが全て使用可能という想定になっている。タンクを經由して水道管が設置されているため、タンクの中の水は常に循環・更新されている。水道管が断水した際には、手動で弁を閉じ、水の循環を止める。

### 3. 検討方法

#### (1) 対象地域の選定

本研究では、応急給水に関する検討では対象地域を弥富市の全域とした。弥富市は、避難所にペットボトルを置く代わりに給水袋を被災者に配布し、給水拠点から袋の中に給水することになっている。今回の研究では、在宅避難を考慮するため、避難所にペットボトルの備蓄がなく、各給水方法を用いて給水するという点から弥富市を対象とした。

弥富市は、愛知県にある人口 43927 人、世帯数 18573 戸、面積 48.28 km<sup>2</sup> の市である。愛知県と弥富市の位置関係、そして各給水拠点の位置について図-1 に示す。なお、仮設 2 とタンク 2 は同じ位置にある。

#### (2) 使用データの取得

##### a) 避難所・給水拠点・配水場のデータ

避難所・給水拠点・配水場のデータは、海部南部水道企業団の公表している「海部南部水道企業団水道事業地

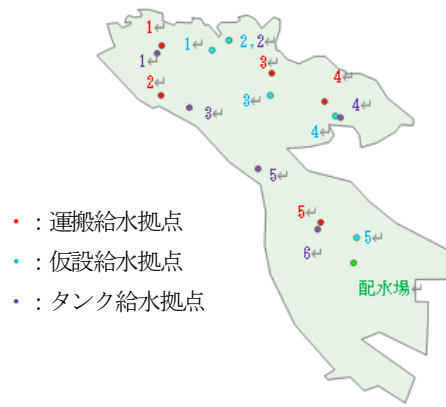


図-1 給水拠点の位置

震防災応急対策要綱」の第 3 章第 4 節に記載されている住所データを使用した。住所を緯度経度に変換し、QGIS を用いて地図上に反映した。各給水拠点の位置関係は、図-1 に記載している。

##### b) 運搬・仮設・タンク給水能力データ

運搬給水の給水能力については、実際に弥富市で訓練を行い、データを入手した。訓練の結果、手間時間を考慮した配水場から給水車への流水時間は 25 分、給水車から運搬給水拠点の 1t タンクへの流水時間は 3 分であった。また、給水車の移動速度は中村(2022)<sup>7)</sup>で使用されている旅行速度を参考に本研究で利用し、一般道路で 16 km/h とし、各リンク長から所要時間を算出した。また、運搬給水拠点に設置されている 1t タンクの水は、30 分で全ての水を給水した。よって、1 分あたり約 33 L の水を給水できる。

仮設給水の給水能力については、名古屋市の防災計画のデータを使用し、「1 分間で 8 人に 3L を給水できる程度」、即ち 1 分間で 24L とした。

タンク給水の給水能力については、蛇口口径：φ13、貯水内圧力 H：0.025 MPa（圧力水頭 2.5m）、流入損失係数流入損失係数  $\xi_e$ ：0、流出損失係数  $\xi_v$ ：1、蛇口損失係数  $\xi_o$ ：全開時 0、バルブ開口面積 A：全開時  $1.33 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  という条件の下で、以下の計算式によって求めた。

$$H = \frac{(\xi_e + \xi_v + \xi_o)V^2}{2g}$$

$$V = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{\xi_e + \xi_v + \xi_o}} = \sqrt{\frac{(2 \times 9.8 \times 2.5)}{0 + 1 + 0}} = 7 \text{ (m/s)}$$

$$Q = AV = 0.000133 \times 7 \times 60 = 0.056 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

運搬・仮設・タンク給水の流水速度についての値を 1 人あたりの給水にかかる所要時間に変換すると、運搬給水：5.5 (s)、仮設給水：7.5 (s)、タンク給水：32 (s)であつ

たので、手間時間を考慮して運搬給水：8 (s)、仮設給水：10 (s)、タンク給水：5 (s)とした。

#### c) 道路ネットワークデータ

本研究では、道路ネットワークデータについて、GISソフトウェア「QGIS」での使用のために、GEOFABRIK DOWNLOAD より「chubu-latest-free.ship」をダウンロードし、その中から「gis\_osm\_roads\_free\_1.shp」を利用した。本研究は弥富市のみを対象としており、市内の高速道路での移動は考慮しないため、高速道路の利用は除外し、一般道路のみの使用とした。

#### d) 弥富市の町丁目毎の人口データ

弥富市の町丁目ごとの人口のデータは、e-Stat の統計地理情報システムデータダウンロードより 2020 年の愛知県における男女別人口総数及び世帯総数のデータ「tblT001083C23.zip」をダウンロードし、その中から「tblT001083C23.txt」を利用した。このファイルから弥富市における小地域（町丁・字等別）のデータを抽出し、利用した。

#### e) 弥富市の町丁目毎の人口付きポイントデータ

弥富市の町丁目ごとの人口付きポイントデータは、(2)の(a)(d)で参照しているデータを結合して作成した。地区によって、異なるデータの記載がされている地区があった（例えば、データ 1 は町丁目まで記載があるが、データ 2 は町までの区分しかされていない）ため、より大きな区分をしている方に合わせてデータを結合した。

#### f) 弥富市のポリゴンデータ

国土交通省の国土数値情報ダウンロードサービスより、愛知県の行政区域データ「N03-200101\_23.zip」をダウンロードし、その中より「N03-200101\_23.shp」を利用した。

### (3) 評価指標

本研究では、現在の弥富市の応急給水能力を検討する 7 パターンにおいていくつかの評価指標を設け、評価指標の比較によって現状の評価及び応急給水方法の効率化についての検討を行う。評価指標は以下の通りである。7 パターンを考慮することによって、弥富市と水道企業団が所有する 3 種類の給水方法のいずれかが使用不可能となったときに、行うことができる給水方法の選択肢から最も効率的な給水方法を選択することができる。また、本研究では給水方法毎の利点や問題点をだし、その上で現状取り得る最適な選択を検討しているが、各給水方法の流水速度の向上に焦点を当て、研究を行うことも給水方法の効率化につながると考えられる。

#### a) 給水拠点 1 カ所あたりの担当人数・給水可能人数に対する担当人数の割合

給水拠点 1 カ所あたりの担当人数は GIS を用いて算出した。担当人数は、弥富市のポリゴンを給水拠点ごとにポロノイ分割し、分割された各地域のポリゴンによって

弥富市の町丁目ごとの人口付きポイントデータを切り抜き、各地域内の人口の総和を求めた。そして、担当人数を各給水拠点で 1 日あたり給水可能な人数で除すことによって給水可能人数に対する担当人数の割合を求めた。また、給水可能人数に対する担当人数の割合について、各パターンの平均値、最大値、最小値、分散を求めた。

#### b) 被災者が給水拠点まで水を取りに行く最大・平均距離と距離帯分布

被災者が給水地点まで水を取りに行く最大・平均距離と距離帯分布は、GIS と Excel を用いて算出した。ポロノイ分割した各エリア内のすべてのポイントの座標データと人口データを抽出し、Excel を用いて給水拠点との距離を算出した。距離とは直線距離のことであり、道路ネットワークを考慮した距離ではない。また、給水拠点からの距離とポイントごとの人口から、最大・平均距離と距離帯分布を求めた。

#### c) 給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るためにかかる時間

給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るためにかかる時間は、第 3 章 2 節(b)で求めた、手間時間を考慮した配水場から給水車への流水時間(2.5 分)、給水車から運搬給水拠点の 1 t タンクへの流水時間(3 分)と、給水車の移動速度(16 km/h)を利用して求めた。今回の仮定では、2 t の給水車 1 台で各運搬給水拠点にある 1 t タンクに給水するため、給水車は 2 つの運搬給水拠点を経由した後、配水場に戻ってくる。5 カ所の給水拠点を 2 カ所ずつ廻るため、最後に残った給水拠点によってその後の時間が変わってくる。よって、今回は給水車が運搬給水拠点を 2 周、即ち計 10 ポイントの拠点を経由するために必要な時間を算出し、その半分の時間を 1 周にかかる時間とする。

まず、GIS を用いて、5 つの運搬給水拠点と配水場、計 6 つのポイントを結ぶ経路を全て求め、その距離と給水車の移動速度から各経路を移動するために必要な時間を算出する。各運搬給水拠点 5 カ所と配水場をつなぐ経路は、必ず 2 回ずつ使用されるので、時間の最小値を求めるためには、各運搬給水拠点を 2 回ずつ使用するという条件の下で、各運搬給水拠点間を移動する際の経路の合計で、最小となる経路を求めればよい。また、配水場では計 5 回、各給水拠点では 2 回ずつ給水の時間が必要である。よって、1 日に給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るためにかかる時間  $T$  は、 $a$ ：配水場から給水車に注水するために必要な時間、 $b$ ：給水車から 1 t タンクに注水するために必要な時間、 $c$ ：各運搬球初拠点間の移動にかかる合計の最小値とすると、以下の式で求めることができる。

$$T = \frac{5a + 10b + c}{2}$$

d) 1日に給水車 1 台で給水可能な運搬給水拠点数

1日に給水車 1 台で給水可能な運搬給水拠点数  $N$  は、以下の式によって求めた。  $s$  : 1日に給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るために必要な時間とする。

$$N = \frac{8}{s}$$

e) 各パターンにおける給水可能人数と弥富市人口に対する割合

各パターンにおける給水可能人数と弥富市人口に対する割合は、第 3 章 2 節の(b)で求めた各給水方法の給水能力の値と、第 3 章 3 節の(c)で求めた 1 日あたり給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るためにかかる時間を用いて算出した。運搬給水・仮設給水・40t タンクそれぞれが 1 日に給水可能な人数を求め、全 7 パターンは、それぞれの和をとって求めた。

(4) 検討

a) 検討 1 給水拠点 1 カ所あたりの担当人数についての検討

各パターンの担当人数について、平均値や分散から評価を行う。また、担当人数の観点から見た際の、給水の効率化について検討する。さらに、各給水拠点の担当人数と給水可能人数の剰余について検討を行い、給水拠点毎に偏りがどの程度存在するのかについて検討する。偏りが生じた場合には、偏りを減らすための手法についても検討する。

b) 検討 2 被災者が給水地点まで水を取りに行く距離についての検討

第 3 章 3 節の(a)で算出した、被災者が給水地点まで水を取りに行く距離についての検討を行う。また、距離という観点において、水を取りに行く距離を減らすための方法についても検討する。どの給水方法を利用するかによって被災者が給水地点まで水を取りに行く距離を場合分けし、どの給水方法を利用すると距離が短くなるのかについて検討する。

c) 検討 3 各給水方法についての検討

第 3 章 3 節で求めた各給水方法の能力について評価を行う。その上で、給水の際の時間対人数の比率を向上させるための方法について検討する。また、算出された給水可能人数によって、7 パターンの内、どの場合が最も効率よく被災者に給水ができるのかについて検討する。

d) 検討 4 応急給水方法の効率化についての検討

第 3 章 4 節の(b)と(c)での検討を踏まえ、給水拠点の追加によって得られる効果について検討し、評価を行う。追加する給水拠点の種類としては、給水可能人数と被災者が給水地点まで水を取りに行く距離の 2 要素を考慮し、選択するものとする。また、追加する給水拠点の位置は、

表-1 各パターンのポリゴンごとの給水可能割合

項目	タンク	運搬	仮設	タンク・運搬	タンク・仮設	運搬・仮設	タンク・運搬・仮設
最大値	2.39	17.20	9.42	5.49	2.39	15.49	5.16
最小	0.36	3.73	1.00	0.15	0.17	0.38	0.15
平均	1.23	9.77	2.94	2.07	0.83	4.12	1.65
分散	0.72	28.40	10.61	3.25	0.61	29.32	2.42

弥富市の 36 カ所の避難所から被災者が給水拠点まで水を取りに行く平均距離が最も小さくなる避難所を選ぶ。

4. 評価指標・検討の結果と考察

(1) 評価指標の結果

a) 給水拠点 1 カ所あたりの担当人数・給水可能人数に対する担当人数の割合

評価指標の結果を表-1 に示す。これは、0 に近ければ近いほど担当人数より給水可能人数が多く、給水可能人数に余裕があることを意味している。また、1 より大きいと、大きい分だけポリゴン内の全ての被災者に対して給水が不可能であるということである。左の区画番号は、分割されたポリゴンに番号を付したものである。

表-1 の分散に注目すると、担当範囲毎に割合のばらつきが大きいことがわかる。最もばらつきが小さいのはタンク・運搬の項目であり、次にばらつきが小さいのはタンクの項目である。よって給水拠点毎の担当人数という点において、タンク給水は大きな役割を果たしているといえる。

b) 被災者が給水拠点まで水を取りに行く最大・平均距離と距離帯分布

評価指標の結果を図-2、図-3 に示す。

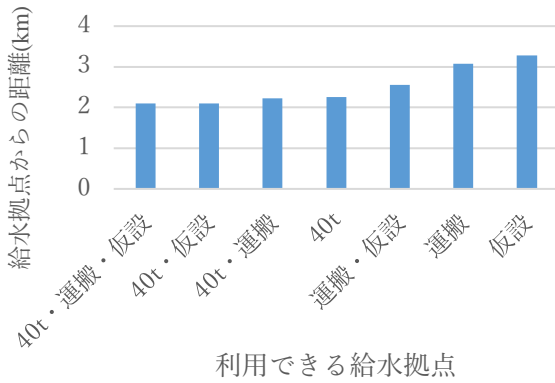
c) 給水車 1 台で運搬給水拠点 5 カ所を廻るためにかかる時間

給水車 1 台で運搬給水拠点を全て廻るために必要な時間は、180 分であった。運搬給水拠点に設置されている 1t タンクの容量と流水速度から 1t タンクの水が全てなくなるまでの時間を算出すると、44 分であった。よって、給水車 1 台が使用できると仮定する場合は、ひとつの運搬給水拠点に焦点を当てると、44 分間給水を行った後、136 分間の待ち時間が存在するといえる。

d) 1日に給水車 1 台で給水可能な運搬給水拠点数

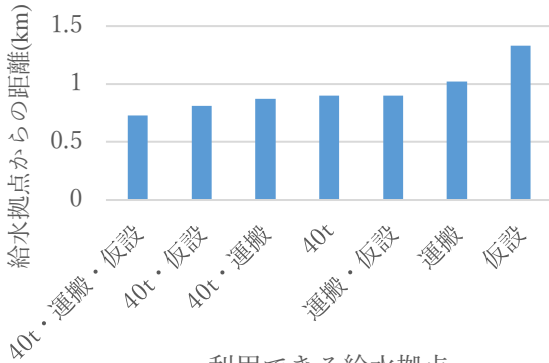
1日に給水車 1 台で給水可能な運搬給水拠点数は、計算の結果、13 カ所であった。1つの運搬給水拠点につき、333 人への給水が可能なので、1日で 4333 人への給水が可能とわかる。

また、給水車 5 台を使用した場合を考えると、1t タンクから常に水が流れ続ける状況を想定するので、1日 8 時間で給水可能な人数は、18000 人と計算できる。これは、弥富市人口に対する 42% である。給水車の支援が、



利用できる給水拠点

図-2 最大距離



利用できる給水拠点

図-3 平均距離

表-2 給水可能人数と弥富市人口に対する割合

	運搬	仮設	運搬・仮設	タンク	タンク・運搬	タンク・仮設	タンク・運搬・仮設
給水可能人数(人)	4,333	14,400	18,733	34,560	38,893	48,960	53,293
弥富市人口に対する給水可能人数の割合(%)	9.9	32.8	42.6	78.7	88.5	111.5	121.3

被災から時間がかかることを考えると、40 t タンクの水がなくなって、給水可能人口が低下したところに運搬給水を利用すれば、給水可能人口としての総量を保てると予想できる。その点については、次の第 4 章 1 節の(e)で考える。

e) 各パターンにおける給水可能人数と弥富市人口に対する割合

各パターンにおける給水可能人数と弥富市人口に対する割合は表-2 のようになった。

(2) 給水拠点 1 カ所あたりの担当人数についての検討の結果

第 4 章 1 節の(a)でも述べたように、タンク・仮設給水使用時が最もばらつきが小さい。これまで得られた評価指標から、最も効率的な給水方法として、1, 2 日目はタンク・仮設給水を使用し、3 日目にタンク給水の水がなくなった際には、運搬給水と仮設給水を主として給水を行う方法が挙げられる。さらに、3 日目の始まりまでに 5 台の給水車を確保できると仮定すると、各給水拠点の給水可能人数に対する各給水拠点が担当する範囲内の人口の割合の最大値・最小値・平均・分散は表-3 のよう

表-3 給水方法毎の項目

給水拠点	1日目・2日目 タンク・仮設	給水拠点	3日目 運搬・仮設 給水車5台
		運搬1	仮設1
タンク1	2.39	運搬1	3.73
仮設1	0.35	仮設1	0.45
タンク2・仮設2	0.57	仮設2	0.88
タンク3	2.15	運搬2	3.35
仮設3	1.29	運搬3	0.99
タンク4	0.28	仮設3	1.11
仮設4	0.38	運搬4	0.47
タンク5	0.17	仮設4	0.38
タンク6	0.33	運搬5	0.57
仮設5	0.35	仮設5	0.51
最大値	2.39	最大値	3.73
最小	0.17	最小	0.38
平均	0.83	平均	1.24
分散	0.61	分散	1.38

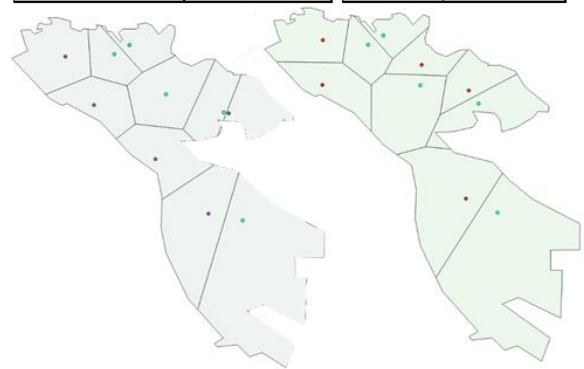


図-4 1, 2日目(左)と3日目(右)の各地域

になる。また、各地域の図の分け方については図-4に示す。給水車 5 台は、運搬給水を最も効率的に行うために必要な給水車の台数であり、第 4 章 4 節で詳しく述べる。この場合、ばらつきを小さく抑えることが可能であり、3 日目の運搬・仮設給水については給水可能人口の割合が約 4 倍になる効果が得られる。しかし、1, 2 日目のタンク・仮設給水では割合が 2 を超える給水拠点が 2 カ所あり、3 日目では割合が 3 を超える給水拠点が 2 カ所あった。これらは両方とも、タンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲の 2 つであり、人口が集中していることが原因である。

1, 2 日目については、タンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲の付近で運搬給水を優先的に利用すると、より地域ごとの偏りがなく給水人口が存在できると予測できる。1, 2 日目のタンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲の内部には、タンク 1 の担当範囲では弥生小学校、タンク 3 の担当範囲では海南病院に運搬給水拠点が 1 つずつ存在しており、擬似的にタンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲のみ運搬給水の分の給水可能人数が増加すると考えると、タンク 1 の担当範囲の割合は 2.08、タ

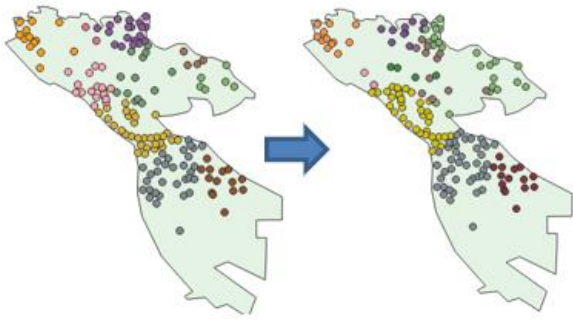


図-5 給水拠点毎の町丁目ポイント（左：再配分前 右：再配分後）

タンク 3 の担当範囲の割合は 1.87 まで、約 1 割程度低下させることができる。

また、他の解決方法としては、タンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲の内部にある給水拠点のみ、予めペットボトルを備蓄しておくという案も挙げられる。この場合の、割合を 1 以下にするために必要な最低限の水量とペットボトル数を計算すると、水量はタンク 1 の担当範囲が 24003L、タンク 3 の担当範囲が 19878L であり、ペットボトル数は 500 ml ペットボトルでタンク 1 の担当範囲が 48006 本、タンク 3 の担当範囲が 39756 本である。避難所では、基本的に 500 ml ペットボトル 24 本入りの箱で保有するので、箱数に換算すると、タンク 1 の担当範囲が 2000 箱、タンク 3 の担当範囲が 1656 箱である。比較対象として名古屋市南区の避難所に備蓄されている物資量と比較すると、明らかに現実的な数値でないことがわかる。よって、前述したタンク 1 の担当範囲とタンク 3 の担当範囲に運搬給水を利用する方法の方が給水の効率化を求める際には適しているといえる。

また、1、2 日目のタンク・仮設給水について、全ての給水拠点で給水可能人数に対する担当人数の割合が 1 を超えないように被災者の給水拠点への再割り振りを行った。方法としては、以下に示す輸送問題を解くことによって求めた。

目的関数： $\min(\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{151} d_{ij} * X_{ij})$

$d_{ij}$ ：町丁目ポイント  $j$  から給水拠点  $i$  までの距離

$X_{ij}$ ：町丁目ポイント  $j$  から給水拠点  $i$  に水を取りに行く人数

制約条件①： $\sum_{j=1}^{151} X_{ij} \leq c_i (j = 1, 2, \dots, 10)$

制約条件②： $\sum_{i=1}^{10} X_{ij} = p_j (i = 1, 2, \dots, 151)$

$c_i$ ：給水拠点  $i$  の供給可能人数

$p_j$ ：町丁目ポイント  $j$  の人数

その結果、図-5 のように再配分された。再配分をしたことによって、全ての給水拠点に給水可能人数以下の被災者を割り振ることができた。しかし、距離と人口を総

合的に考慮した最適化となっているため、場所によっては最も近い給水拠点ではない給水拠点への給水を行う場所も存在する。被災者が給水地点まで水を取りに行く平均距離は 0.82km から 1.44km に増加しており、最大距離も 2.10km から 3.64km に増加している。そのため、この再配分された通りに被災者へ給水行動を求めることは距離という観点において問題が生じると考えられる。被災者が最も近い給水拠点で給水を行うためには、各給水拠点の給水可能人数を増加させる必要があり、3.3. で述べた給水方法自体の流速の改善も検討の余地がある。

### (3) 被災者が給水地点まで水を取りに行く距離についての検討の結果

図-2 より、仮設給水が最も距離が遠く、次に運搬給水の順番で短い。また、タンク給水は運搬・仮設の併用よりも最大距離が短いことから、タンク給水の距離の観点における重要性は高いといえる。また、仮設給水は愛知県所有の水道管沿いに直線的に伸びているので、位置が偏っているため最大距離が大きくなったと考えられる。最大距離の最大値と最小値の差は約 1 km あるが、給水地点の開設までの時間を考慮すると、最大距離の大きい運搬・仮設給水の準備ではなく、最初にタンク給水の給水準備を進めるべきだといえる。

また図-3 より、平均距離についても、最大距離と同じ順番となった。タンク・運搬・仮設給水すべてを使用したとき、タンク給水のみの場合と比較すると、その差は約 150 m であり、運搬のみ、仮設のみと比べて距離を縮めるという点において重要な役割を果たしていると考えられる。この 2 つのグラフから、距離という観点においては、タンク給水の拠点数を増やすことが有効であると考えられる。また、運搬給水拠点についても、簡易式の 1 t タンクを利用しているという点から、別の避難所に運搬給水拠点を変更すると、さらなる最短距離の短縮につながると考えられる。仮設給水拠点については、愛知県の水道管に既に設置されているため、移動は困難であるが、道路上に存在するため、自動車や自転車の交通規制を行った上で給水を行えば距離という問題を緩和しながら利点を活かして給水が可能である。

さらに、運搬給水と仮設給水の比較をすると、仮設給水は水道管ネットワークに依存するのに対し、運搬給水は簡易 1 t タンクを移動させることで給水拠点を変更することができるため、運搬給水拠点の最適化については検討の余地がある。

### (4) 各給水方法についての検討の結果

まず、運搬給水の評価指標についてまとめると、給水車 1 台では、5 つの運搬給水拠点を全て廻るために 180 分の時間を要し、1 日給水車 1 台で 13 カ所の運搬給水拠

点を廻ることができる。また、ひとつの運搬給水拠点に焦点を当てると、1日給水車1台では、44分間給水を行った後、136分の待ち時間が存在する。

次に、待ち時間の問題を解消するために、何台の給水車があれば最も効率的な給水ができるかについて考える。給水車1台の仮定の下では、運搬給水拠点での給水時間の約2倍の待ち時間が存在する。今回は、問題を単純化するために、給水車1台の追加につき、運搬給水拠点を廻る時間が2分の1、3分の1となっていくと考えると、給水車が4台の場合に、全ての運搬給水拠点を廻るために必要な時間は45分となり、1tタンクの水が全てなくなるまでの時間にかなり近い値となる。また、給水車5台の場合を考えると、運搬給水拠点を全て廻るために必要な時間は36分であり、ひとつの運搬給水拠点につき、8分程度の過剰時間が生じるといえる。ただし、今回の研究では、使用できる道路ネットワークは、一般道路すべてとなっており、実際の災害の際には、使用不可能な道路も存在するため、運搬給水拠点を全て廻るために必要な時間の実際は、算出した値より大きくなることを考えると、給水車5台での給水が最も効率的だという予測が立てられる。しかし、使用できる道路ネットワークの制限を考慮した計算を今回は行っていないので、この点については今後、検討の余地がある。

また、給水可能人数という観点において、給水車5台を使用した場合を考えると、1tタンクから常に水が流れ続ける状況を想定するので、1日8時間で給水可能な人数は、18000人と計算できる。これは、弥富市人口に対する42%である。給水車の支援が、被災から時間がかかることを考えると、40tタンクの水がなくなって、給水可能人口が低下したところに運搬給水を利用すれば、給水可能人口としての総量を保てると予想できる。

次に、3つの給水方法に対する検討を行う。給水可能人数という点では、タンク給水が最も高く、次に仮設給水、運搬給水という順となった。タンク給水は弥富市人口に対する給水可能人数の割合が78.7%と、他の給水方法に比べても非常に高いので、最も優先して給水の準備を進めるべきだといえる。また、運搬給水は9.9%と低いので、タンク給水を利用した場合に距離が遠くなってしまふ人のために、数カ所のみ運搬給水拠点として稼働させるという手段が有効である。しかし、今回の研究では、その点については検討できていないので、検討の余地がある。

また、40tタンクは、23日で空になる計算なので、それ以降の給水については運搬給水と仮設給水のみでまかなう必要がある。第4章1節(d)で考えた、給水車5台による給水の場合を考え、仮設給水が常に使用可能だと考えると、その2つの給水方法を使用した際の給水可能人数は32400人であり、これは弥富市人口に対する76%



図-6 増設した給水拠点の位置

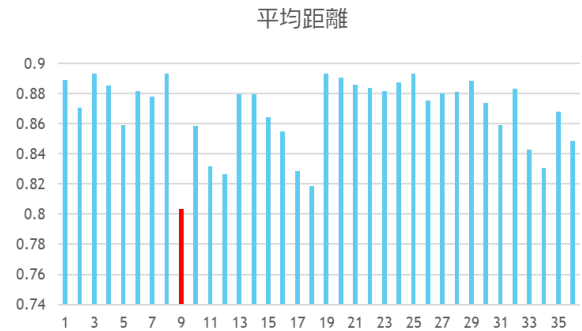


図-7 避難所毎の平均距離

である。3日目に40tタンクの残りの水で給水できる人数は10880人であり、これは弥富市人口の26%なので、給水車5台と仮設給水と合計すると102%である。よって3日目までに5台の給水車を確保できれば、弥富市の市民全員に給水を行うことができる。

##### (5) 応急給水方法の効率化についての検討の結果

これまでの検討の結果、タンク給水は距離・給水可能人数という両方の点において重要な役割を果たしているとわかった。ここで、さらなる効率的な給水を行うために、タンク給水の給水拠点を1つ増やした場合の効果を考える。増やす拠点の位置は、産業会館を選定した。増設した給水拠点の位置は図-6に示す。選定方法としては、タンク給水のみを使用した場合の人口の重みが付いた給水拠点まで水を取りに行く平均距離が最小になる場所を選んだ。それぞれの避難所における平均距離の変化のグラフを図-7に示す。この場合の、タンクのみ、仮設・タンクの2パターンの平均距離を求めると、タンクの場合0.80kmであり、タンク・仮設の場合0.73kmとなった。40tタンクを1つ追加する前のタンクのみ：0.90km、タンク・仮設：0.82kmと比較すると、どちらも100m程距離を縮めることができている。さらに、タンクを1つ追加することで、1日あたりにタンクのみで給水可能な人数が、34560人から、40320人に増加し、これは弥富市人口の95%である。

## 5. 結論と今後の課題

本研究では、GIS ソフトウェアを利用して、弥富市における断水時の在宅避難を想定した応急給水方法に関するいくつかの分析と検討を行った。その結果を要約すると以下ようになる。

### <検討1>

- 1) 給水可能人口は、タンク・仮設・運搬の順に大きい
- 2) 給水可能人口割合の分散の観点から、効率的な給水方法として、1,2日目はタンク・仮設給水を使用し、3日目にタンクの水がなくなった際には運搬・仮設給水を使用する方法が挙げられる
- 3) 給水車5台を使用できると仮定した場合、3日目の運搬・仮設給水で給水可能な人口に対する弥富市の人口の割合が、1/4程度まで減少する
- 4) 人口が集中している地域については、優先的に運搬給水を用いることで、地域における給水可能人口を疑似的に増加させることができる。11日目のタンク・仮設給水において10地域のうち2地域に運搬給水を利用することで、2地域はそれぞれ1割程度、給水可能な人口に対する弥富市人口の割合を1割程度減少させることができる
- 5) 人口が集中している地域のみペットボトルを備蓄する方法を検討したが、現実的には難しい

### <検討2>

- 6) 給水地点まで水を取りに行く距離は、タンク・運搬・仮設の順で短い
- 7) 給水地点まで水を取りに行く距離という観点から、タンク給水が重要な役割を担っている
- 8) 運搬給水拠点は簡易式の1tタンクを利用しているため、給水拠点を別の場所に移すことが可能であり、運搬給水拠点の最適化についても検討の余地がある
- 9) 仮設給水拠点は道路沿いに存在するため、車で水を取りに来る被災者のために道路の交通規制を行うことで、仮設給水拠点の難点である、「取りに行くまでの距離が遠い」という点を緩和しながら給水を行うことが可能である

### <検討3>

- 10) 運搬給水では、全ての運搬給水拠点を廻るために180分の時間を要し、1日給水車1台では13ヶ所の拠点を廻ることができる
- 11) 1日給水車1台では、1つの拠点につき44分の給水を行った後、136分の待ち時間が存在する
- 12) 待ち時間をなくすためには給水車5台が必要である

- 13) 給水車5台を利用した場合、給水車1台に比べて給水可能人数が4倍程度になる
- 14) 1,2日目にタンク・仮設給水、3日目にタンク・仮設・運搬（給水車5台）を利用する場合、全日において弥富市人口より多い給水可能人口を得ることができる

### <検討4>

- 15) タンク給水拠点を十四山西部小学校に1つ追加した場合の平均距離は、タンク給水のみ・タンクと仮設給水の場合とも約50m短縮され、給水可能人数も1日当たり約6000人増加する

また、今後の課題として以下のような項目が挙げられる。

- 1) 道路ネットワークを制限しておらず、実際の災害の際に使用できない道路が存在する可能性があるため、道路ネットワークを考慮した検討が必要である。
- 2) 3日目までの応急給水を検討したが、3日目以降の給水についても検討が必要である。
- 3) 弥富市に限定して研究を行ったが、実際には他地域との連携のもと給水活動を行うと考えられるので、範囲を広げた検討が必要である。
- 4) 家庭の備蓄を考慮せず検討を行っていたので、実際には給水すべき人口は減ると考えられ、家庭の備蓄を考慮した場合の検討が必要である。
- 5) 各給水方法の給水可能人数を増加させるための、流水速度の向上について検討の余地がある。

## REFERENCES

- 1) 気象庁：南海トラフ地震に関する情報  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/nteq.html>
- 2) ヤマト住建：耐震住宅に関する情報  
<https://www.yamatojk.co.jp/useful/news/earthquakeresistant/173753#:~:text=%E8%80%90%E9%9C%87%E4%BD%8F%E5%AE%85%E3%81%A8%E3%81%AF%E3%80%81%E9%9C%87%E5%BA%A6,%E3%81%93%E3%81%AE%E3%82%88%E3%81%86%E3%81%AB%E5%91%BC%E3%81%B3%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>
- 3) 国土交通省：全国の耐震化率に関する情報  
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001354197.pdf>
- 4) 松本嘉孝, 加藤崇洋, 猪八重拓郎(2016): GISを用いた災害時の応急給水量の評価—愛知県豊田市中心部を事例として—, 土木学会論文集 G (環境), Vol.72, No.6 (環境システム研究論文集 第44巻), II\_319-II\_324

- 5) 大西洋二, 鋤田泰子(2012): 広域災害時の応急給水能力に関する一考察—東日本大震災の事例—, 土木学会論文集 A1 (構造・地盤工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第 31-b 巻), I\_930- I 939
- 6) 秋月伸哉, 畑山満則, 伊藤秀行, 松原悠(2020): 広域災害時の医療現場における断水対応に関する研究, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集
- 7) 中村明慈(2022): 南海トラフ地震に備えた緊急支援物資のための拠点最適化, 名古屋大学修士論文

## STUDY ON EFFICIENT EMERGENCY WATER SUPPLY LOGISTICS AT DISASTER: CASE OF YATOMI CITY

Kenta OKIYAMA, Toshiyuki YAMAMOTO and Hideyuki ITOH

This study investigates the emergency water supply logistics in Yatomi City, assuming that people will be forced to stay home at disaster. As a result of examining three water supply methods, tank water supply, transported water supply, and temporary water supply, it was found that tank water supply plays an important role in terms of two aspects: the population that can be supplied and the distance to get water to the water supply base. As an efficient emergency water supply method, we proposed the use of tanks and temporary water supply on days 1 and 2, and transportation and temporary water supply on day 3 since the tank becomes empty. In particular, five water trucks for transporting water on the third day were found to be sufficient to supply to all citizens. In addition, we also considered the case where one additional tank water supply base was added, and showed a potentially more efficient emergency water supply logistics.