

利用者の視点に立った渇水耐力指標の研究



岡安 徹也

調査第一部
 上席主任研究員

研究の背景と目的

JICE では、受託業務成果のフォローアップや行政に先立ち行政的・技術的課題を発掘・検討していくことを目的に、自主財源による自主研究を実施している。

本研究は、公益法人として社会貢献に資するべく、①事実関係をヒントとした「大きな研究テーマへの発展の可能性」や、②行政や報道から発信される「定型的情報以外の情報の価値発掘」を念頭に、JICE の自主研究として実施したものである。

本研究は、広島県・呉市や江田島市に給水する広島県営水道の送水トンネル崩落事故による断水の影響区域の住民並びに商業施設を対象に「長期間の完全断水」への影響実態を調査し、その結果から渇水リスク評価へのヒントを探ることを目的に実施した。

この断水事故は、それまで通常の生活を営んでいた地域に突然の断水をもたらしたという点で少雨による渇水とは異なり、市民生活や地域経済に与えた影響も一般的な渇水現象より顕著に現れたと考えられる。

送水トンネル事故の概要

平成 18 年 8 月 25 日午後零時半ごろ、呉市や江田島市に給水する広島県営水道の送水トンネルが崩落するという事故が起こった。(図-1 参照)

トンネルが崩落した場所は、広島市安芸区矢野東の「矢野開閉所」から約 370m 入った地点である。約 100 トンの花こう岩の岩盤が天井を突き破って崩落し、縦・横 2m のトンネルを塞いだ。崩落延長は約 10.5m である。

また、崩壊現場から矢野開閉所に向かっては、天井に最大 1cm のひびが約 45m にわたって入っており、崩落

区間と合わせると約 55.5m が復旧の対象となった。復旧に 3 週間かかるといわれていたが、9 月 6 日に全地域で断水が解除された。(当初は湛水の影響もあり、崩落区間延長が 45m、約 350 トンの岩盤と見積もっていた。)



図-1 崩落事故のあった送水トンネルの断面図

この事故により、呉市及び江田島市において 9 月 6 日午前零時までの最大 13 日間にわたり約 3 万 2 千世帯(約 72,000 人)に断水被害が発生するとともに、県営工業水道を利用する企業 4 社への給水停止、呉市営工業水道を利用する企業 3 社への給水量制限が発生した。

研究内容及び結果

1 断水影響実態調査の手法

1-1 断水期間中の調査

本調査は、一般家庭を対象に、専門家が想定していない「意外な影響の把握」を狙ったものである。これまでの渇水調査で一般的に実施されているような、断水生活が終わった後でのアンケート調査などとは違い、断水生活中の住民(12 世帯)に、些細なことでも構わないので、断水生活の実態や感じたこと、困っていることなどを毎日記録してもらう方法で調査を実施した。

あわせて、毎日の給水量、給水所までの距離と自宅の立地条件、断水により生じた余計な出費等の記録も可能な範囲でお願いした。

1-2 断水解消直後の調査

本調査は、事業所を対象に、平常時にどのような形態で水利用をしていて、断水により何が一番困っていたかを把握することに狙いがあるので、断水が解消された直後（9月8日）に、断水の影響を大きく受けそうな医療施設や飲食店、クリーニング店等の商業施設（88サンプル）に直接赴き、断水により被った被害状況等について聞き取りを行った。

2 断水影響実態の調査結果

2-1 調査結果から得られた定型的な影響

これまでの行政や報道から発信されている下記のような定型的な影響は、本調査においても確認された。

(1) 一般市民生活への影響（生活用水）

給水所には市民が列をつくり、スーパーではミネラルウォーターなどの売り切れが続出した。

(2) 工業施設への影響（工業用水）

日新製鋼呉製鉄所は、県が供給する1日当たり11万6千5百トンの工業用水の全量、呉市営工業用水からの1日4万3千5百トンの5割が受けられなくなり、操業が一次停止した。その後、1,000～3,000トンの給水船を使い、近隣の事業所（他社）から支援供給を受け、操業率を80%まで回復した。製鉄所では、止めることのできない高炉（製鉄）と転炉（製鋼）までの上工程を優先し、下工程の熱延・冷延を間欠操業した。

淀川製鋼所呉工場は呉市営工業用水からの1日5万3千5百トンの6割が受けられなくなり一時操業停止となったが、冷却水や洗浄水の再利用により、稼働率70%を確保した。

王子製紙呉工場は、県、呉市から供給を受ける工業用水1日10万3千トンのうち約6割の供給が停止し、4台ある生産設備のうち3台を止めたため、生産量は通常の約3割となった。

(3) 調査結果から得られた意外な影響

①漁業への影響

能美町の鹿川漁協は日産10トンの製氷機を備えてい

るが断水で製氷がストップした。1つの漁船が1回の漁で、氷が200キロは必要であり、大量に氷や水を使うイワシ網漁がストップした。

②精肉店等への影響

精肉店や鮮魚店等の大型冷蔵庫の空気冷却に使用されているクーリングタワーは水道と直結されており、断水時に使用ができなくなった。

③医療機関への影響

人工透析には、1人の患者に対して約200リットルの水が必要であり、断水の影響を受けて、人工透析の専門病院では急遽1トンの給水タンクを購入した。

また、歯科医で使用されている「噴霧器」等は水道と直結するタイプであり、断水時にはその使用ができなくなった。

④商業施設への影響

美容室で使用される「湯沸かし器」やクリーニング店で使用するボイラーのブロー、スーパーマーケットや鮮魚店で使用する製氷機など、水道と直結するタイプも多いため断水時にはその使用ができなくなった。

(4) 意外な影響情報から検討すべき事項

今までの湯水調査では、気がつかなかった前述の意外な断水による影響情報から、今後検討すべき事項とし、以下の湯水時のリスクや対策の見直しがあげられる。

- ①水消費型業種の水利用形態と影響の把握、代替水路や水源の確保、並びに節水への工夫
- ②断水時の代替措置が困難な水道直結型機器の増加と湯水時の脆弱性への対策

3 断水時の家庭への影響実態

3-1 調査結果から得られた定型的な影響と工夫

これまでの行政や報道から発信されている代替措置によって水が家庭内に到着してからの水利用上の不便さに関する定型的な影響は、本調査においても確認された。

- ①給水車の水は、その水質（感覚的なもの）から飲食用としては利用しなかった人が多く見られた。飲食

用の水は、ミネラルウォーター（ペットボトル）を購入する傾向にあった。

- ②利用目的を水質から整理し、良好な水質が求められる利用先から使用し、利用した水を還元してさらに使用していく工夫が見られた。（風呂→洗濯→トイレ）
- ③日常的には最新の機能を有する電化製品であっても、水道と直結タイプである給湯器や全自動洗濯機、タンクのないトイレ等は断水時には使用困難になる場合があった。

3-2 調査結果から得られた新たな影響と工夫

これまでの行政や報道から発信されている代替措置によって水が家庭内に到着してからの水利用上の不便さに関する定型的な影響は、本調査においても確認された。

- ①水の運搬の困難さに関しては、単に距離的な要因だけでなく、給水箇所と自宅との高低差、運搬路における階段の有無等が大きく影響する。
- ②給水箇所から自宅までの運搬は、自動車の利用やボランティア等の援助がある場合、大容量のタンク（20L）が有利であるが、自宅内での持ち運びを考慮した場合には、小容量のタンク（5L程度）に分けて運搬することが望ましい。
- ③一人住まいの高齢者や高齢者だけの世帯等に対しては、地域やボランティア等による運搬支援等が行われているケースも見られるが、今後は、給水車がそのような世帯を巡回するような制度についても検討されるべきである。
- ④独身世帯や共働き世帯等、昨今の家族構成等を考えた場合には、給水時間帯について再検討することが望まれる。
- ⑤飲食用の水は、日常から購入することが一般的となってきたこともあり、給水車による給水だけではなく、ペットボトル等の配給についても検討することは有効であると考えられる。
- ⑥給水所には駐車場を併設することが重要である。
- ⑦井戸水や山水等の代替水源を有している家庭は、断水時も通常とほとんど同様な生活ができていた。ただし、代替水源も日常から利用していないと水質や

水量の関係から利用が困難な場合もあった。

3-3 調査結果から得られた定型的な影響と工夫

前述の断水時の水の調達の困難性に関する調査結果から、同じ断水区域内においても、個人的な生活環境の違いにより、調達の困難性に差異をもたらすことが明らかになった。その差異をもたらす要因を分析した。

その結果、下記の4つの要素に起因すると考えられる。

(1) 立地要因

自宅と給水所が離れていればいるほど、水の運搬に大きな困難が伴う。家屋が傾斜地に立地している場合、給水車からの水を運ぶことは大きな困難となる。

(2) 資産要因

自家用車、バイク、自転車、台車等、何らかの運搬手段があれば、水の運搬の負担を軽減できる。更には、家庭内の水道設備に連結したタンク等の貯留手段を個人で備えていれば、時間断水時の水取得や水利用の利便性に対する負担軽減が期待できる。なお、水取得を容易にする設備に関する要因という視点から、資産要因という名称をここでは設定した。

(3) 代替要因

井戸、湧水、山水等の代替水源を持っている場合、給水に頼る度合いは著しく低い。

(4) 人的要因

高齢者、特に高齢者女性のみのお家庭や、独身世帯や共働き世帯等の給水時間帯に不在のお家庭は、水の運搬にかかる人的負担に大きな困難がある。

4 渇水リスクに関する新たな検討の可能性

4-1 渇水リスクに関する新たな検討の視点の可能性

影響調査結果を整理する過程から、渇水のリスクを評価する視点として、これまで検討されてきた供給者側からの視点のみならず、利用者側から見た潜在的なリスクも評価すべきではないかという発想が浮かびあがってきた。

自主研究として、新たな検討の可能性を探るため、利用者側から見た潜在的な渇水リスクのうち、前章で整理し

た家庭に水が到達するまでの4つの困難性の要因を基に、各家庭の渇水に対する抵抗力・耐性を表現するための強さの数値指標（渇水耐力指標 DRI :Drought Resistance Index）を表現することを実験的に試行した。

4-2 渇水耐力指標（DRI）の定義

前章で整理した家庭に水が到達するまでの4つの困難性の要因を用いて、渇水耐力指標（DRI）を次の式で表す。

$$DRI = \alpha \cdot F1 \text{ (立地)} + \beta \cdot F2 \text{ (資産)} + \gamma \cdot F3 \text{ (代替)} + \delta \cdot F4 \text{ (人的)}$$

本式を用いることにより感覚的な指標を表-1のような水取得の困難性を示す5段階の定量的な指標で表現することを試行した。

点数が大きくなるほど、困難性が高いと設定し、水取得の必要性や取得に当たっての手段の困難性の2つの視点から点数評価することとした。

例えば、井戸水など代替水源を有していれば0点となるが、平常時から生活支援を受けているような高台に居住している高齢者世帯になれば5点となる。

表-1 渇水耐力指標（水取得の困難性）のランク

点数	給水の必要性	必要量確保の困難性
0	全くない	困難はない
1	少しある	
2	ある	少し困難がある可能
3		少なからず困難を伴うが可能
4		自力確保は、ほぼ不可能

そのため、各パラメーターFの設定は、定性的な評価になりやすい要因指標を可能な限り定量化して点数評価することを目指した。以下に、試行として仮設定した各パラメーターFの設定の考え方を示す。

(1) 立地要因 F1

立地要因F1は、「家屋周辺の地盤勾配 (i)」と「自宅と給水所の距離 (d)」に分けて算定することとした。

地盤勾配 (i) は、国土数値データを用いて、各家庭が位置する地盤メッシュと給水所となりうる公共施設が位置する地盤メッシュとの高低差を、その2地点間の直線距

離で除して算定し、45°で除して無次元化した。

距離 (d) は、上記で求めた2地点間の直線距離を、1kmで除して無次元化した。

なお、給水所となりうる公共施設は、呉市の場合は、呉市HPで公開されている「災害時応急給水拠点」より抽出を行った。一方、江田島市は、江田島市HPで公開されている「江田島市内の施設一覧」より給水所となりうる施設を選定し、抽出を行った。

(2) 資産要因 F2

資産要因F2は、取得したデータの制限もあり、今回は運搬手段 (t) の差異のみを表現するため、暫定的に下表のように設定した。

表-2 運搬手段の差異を表すパラメーター

運搬手段 (t)	t 値
運搬手段を持っていない	1
自転車、台車等の人力の運搬手段を有する	0.6
自動車、バイク等の動力付運搬手段を有する	0.2
不明	0.4

(3) 代替要因 F3

代替要因F3は、井戸、湧水、山水等の代替水源の所持状況を表現するため、今回は暫定的に下表のように設定した。なお、今回はデータ取得の関係で水量と水質を同質の重みで扱わざるを得なかったが、本来は代替水量の大小と代替水の飲用への適合・不適合（水質）で、それぞれ点数を分けることが必要と考えられる。

表-3 代替水減の有無を表すパラメーター

井戸、湧水、山水等の代替水源の有無 (r)	r 値
代替水源を持っていない	1
代替水源を持っているが、水量・水質に不安がある	0.25
代替水源を持っており、水量・水質に問題がない	0

(4) 人的要因 F4

人的要因F4は、家族構成による運搬の容易性を表現するため、今回は暫定的に下表で設定したm値を用いて、家族構成 (f) を次式で算定した。

$$f=1/\sum m$$

表-4 家族構成を表すパラメーター

家族の構成員 (一人あたり)	m 値
65 歳以上の女性 / 男性	1/1.5
65 歳未満の女性 / 男性	1.5/2
中学生以上の子供	2
小学生以下の子供	0

以上より、湧水耐力指標 (DRI) 算定の重回帰式を以下のように設定した。

$$DRI = \alpha i + \varepsilon d + \beta t + \gamma r + \delta f$$

i: 家屋周辺の地盤勾配, d: 自宅と給水所の距離,

f: 家族構成, r: 代替水源の有無, t: 運搬手段

4-3 湧水耐力指標 (DRI) の試算

断水中の調査並びに断水直後の調査の両調査結果から整理された4つの要因に関する状態を記載した各家庭の断水による困り具合を、湧水耐力指標 (DRI) の0点から4点までの5段階で他者(59名)が湧水耐力指標 (DRI) 値として総合診断した。

他者(59名)に診断された湧水耐力指標 (DRI) 値を真値として、前節までに行った独立変数のパラメーター設定の結果を用いて、最も適合する重回帰式の係数算定のための重回帰分析を行った。

なお、DRI 値の採点結果のうち、採点結果にかかるバイアスを除去するため、以下の項目にあてはまるサンプルは重回帰分析の対象からは除外した。その結果、評価サンプル数は39サンプルとなった。

① ボランティア等の支援を受けたといった記述のあるサンプル

* 支援を取り除いた湧水の影響を採点しているか、支援結果も含めた影響を採点しているのか、採点者の判定内容の特定が困難

② DRI 値の採点結果に4点の差が見られるサンプル

* 採点するための情報が乏しかったり、深刻さに対する各要素の重み付けにバラツキが見られることから、採点結果の開きが大きいため正確な評価をしていない可能性がある

重回帰分析の結果得られた回帰式の係数は次の通りである。

表-5 重回帰式の係数算定結果

パラメーター項目	要因 F	係数
切片	—	0.267
α	勾配	0.166
ε	距離	-0.003
β	家族構成	0.021
γ	代替水源	0.253
δ	運搬手段	0.106

重相関 $R^2 = 0.711$

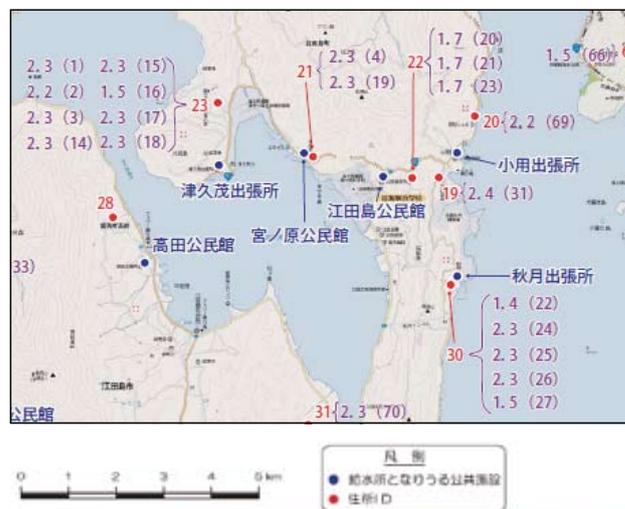
推定した湧水耐力指標 (DRI) の重回帰式

$$DRI = 0.166 \cdot i - 0.003 \cdot d + 0.021 \cdot f + 0.253 \cdot r + 0.106 \cdot t + 0.267$$

i: 家屋周辺の地盤勾配, d: 自宅と給水所の距離,

f: 家族構成, r: 代替水源の有無, t: 運搬手段

今回の調査結果を踏まえ、暫定的に上記の湧水耐力指標 (DRI) の重回帰式を導き出すことができた。



※ 図中、裸書き数字は湧水耐力ランク、
() 書き数字はヒアリング対象者IDを示す

図-2 湧水耐力指標 (DRI) 算定結果例

今回のアンケート結果から導いた重回帰式では、4つの要因のうち、代替水源の有無が湧水耐力指標 (DRI) に与える影響が大きいという結果となっている。

一方、勾配と距離の要因においては、サンプルの半分以上が給水所の直近で100m以下の厳密な距離を把握す

ることは困難なため 0m と仮定して算定したので、今回のサンプルでは明瞭な関係性が見出せなかった。

今回の試行では、傾向としては判定結果及び影響因子の大きさが予想されたものとはほぼ同じであり、特異な傾向は見られていないので、湧水耐力の要素を取り出した指標として説明することの可能性を引き続き検討する価値があるのではないかと考える。

但し、本式を算出するにあたっての、各家庭の湧水水取得の困難性に関する今回のアンケート調査の情報精度は、サンプル毎にまちまちであり、湧水耐力指標への活用を前提としたデータ収集の仕方や内容を精査する必要があるとともに、適用にあたっての前提条件や指標を活用する場等を検討していく必要があると考える。

4-4 説得力ある湧水耐力指標 (DRI) に向けて

前述のとおり今回の試行により、湧水耐力指標を構成する要素は現時点で不適切とは思われないので、算定式の妥当性確認に向けて、湧水耐力指標 (DRI) に活用すること前提としたアンケート調査を実施するとともに、算定式を再度導き出して検証することが重要と考える。

具体的には、今回検討した水取得の困難性以外にも、湧水時の各家庭における湧水に対する抵抗力・耐性を表現するため要因を仮定し、それら要因の実態を把握するアンケート調査を実施する。そのアンケート結果を基に、仮定した要因間について主成分分析により相関関係にある要因の合成を行い、湧水における抵抗力・耐性を表現する要因を抽出する。その要因を対象に今回と同様の検討を行い、妥当性のある算定式を導き出すことが必要と考える。

また、今回の検討では、要因ごとの点数評価のランク値の妥当性を分析することまでは実施していないが、点数化のための閾値設定も含め、パラメーターの設定を共分散構造分析により実施することも有効と考える。

これにより、より「説得力」のある指標への展開が可能になると考える。

4-5 湧水耐力指標 (DRI) の活用可能性について

今回提案した湧水耐力指標 (DRI) の概念は、今後の継

続検討により実用化を図ることができれば、以下の3つのケースでの活用が考えられる。

(1) 各家庭での活用

湧水耐力指標 (DRI) の算定式を用いて、各家庭での湧水に対する抵抗力・耐性を自己診断し、家庭内の給水タンクの設置や運搬手段の整備など、湧水耐力強化の努力目標として活用する。

(2) 湧水時の市町村での活用

湧水耐力指標 (DRI) の算定式を用いて、地区毎の湧水耐力のポテンシャルを予め評価することにより、給水場所や給水の優先順位、給水時間帯、ボランティア配置など、湧水時の市町村の給水車配置計画へ反映することができる。

(3) 湧水に強いまちづくりへの活用

同様に、地区毎の湧水耐力のポテンシャルを予め評価することにより、高台への湧水時用の共同給水タンク設置や運搬の支援手段の整備など、市町村が事前対策 (備災) として実施すべき湧水に強いまちづくり施策への目標や施策立案への活用が考えられる。

おわりに

断水や湧水時の利水者の被災事例のデータを蓄積・精査することにより、湧水耐力指標 (DRI) の精度向上や説得力向上のための改善を図ることができ、利水者の潜在的リスクを考慮した湧水リスクの評価に、今後、発展させていくことも可能と考える。

更には、湧水被害ポテンシャルの定量評価を経済評価に展開することにより、利水経済調査に応用する可能性もあると考える。

参考文献

- 1) 水道送水施設の事故について (第28報) , 広島県
- 2) 呉市及び江田島市への水道送水施設の事故について, 広島県
- 3) 呉市・江田島市 断水事故に関する影響実態調査報告書, (財) 国土技術研究センター
- 4) 利水経済調査報告, (財) 国土技術研究センター