

利用者の視点に立った渇水耐力指標の研究(その2)



水頭 顕治

調査第一部
主任研究員



岡安 徹也

調査第一部
首席研究員

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。

そのような中、平成 18 年 8 月に発生した広島県営水道の送水トンネル崩落事故を題材に水利用者が断水や渇水時にどのような問題が生じるのかをリスク評価し同年度の研究成果として取りまとめた。

今回は、その研究成果を踏まえ、渇水や断水に対して、自分たちの住んでいる市町村あるいは地域等ではどの程度の耐力があるのかを予測し、またリスクの要因を事前に把握するための指標として、前回設定した算定式の一般化についての検討を行ったものである。

前回までの研究成果

事故発生直後に現地入りし、被災者に断水中及び断水直後のアンケート調査を実施し、被害状況の把握に努めた。

また、そのアンケート調査結果を基に、被害内容を分析すると共に、渇水耐力指標の試算を試みた。

1 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。

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 日にわたり約 3 万 2 千世帯（約 72,000 人）に断水事故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。

2 渇水耐力指標（DRI）の設定

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。

そこで、利用者側から見た潜在的な視点から渇水耐力指標の検討を行うこととした。

渇水耐力指標は、「①立地要因」「②資産要因」「③代替要因」「④人的要因」の 4 つの要素に起因すると考え、これらを要因とする指標試算を行った。

①立地要因；自宅と給水所が離れていればいるほど、水の運搬の大きな困難が伴う。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家庭や、独身世帯や共働き世帯等の給水時間帯に不在の家庭は、水の運搬にかかる人的負担に大きな困難がある。

2-1 喝水耐力指標（DRI）の定義

先に述べ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、喝水耐力指標（DRI）を次の式で表すこととした。

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

2-2 喝水耐力指標（DRI）算定式の設定

断水時のアンケート結果をもとに重回帰分析を行い、次の算定式を設定した。

$$\begin{aligned} \text{喝水耐力指標 (DRI)} &= 4 * (\text{DRI})' \\ (\text{DRI})' &= 0.166 \cdot i + 0.003 \cdot d + 0.021 \cdot f + 0.253 \cdot r + 0.106 \cdot t + 0.267 \end{aligned}$$

ここで、

i ; 家屋周辺の地盤勾配

d ; 自宅と給水所との距離

f ; 家族構成

r ; 代替水源の有無

t ; 運搬手段

今回研究の内容と結果

今回の研究では、主に「断水や喝水が市民生活に与える影響についての各関係団体等へのヒアリング」と「前回提案した喝水耐力指標値の一般化に向けた取り組み」を行った。

はじめに、自治体、各商業施設が加盟している組合・協会、あるいは病院等への聞き取りにより、幅広く喝水等による影響内容の実態把握を行った。その結果、断水や喝水が水利用者に与える影響や被害の大小を左右する要因等について把握することができた。

次に、前回設定した算定式の主要因分析を行い、どの要因が算定式に最も影響を及ぼし、また、どの要因を精査すれば算定式の精度向上を図れるのか等、喝水や断水に対する地域毎の喝水耐力指標の予測値を簡易に算定できる式の確立を図るためにはどのような課題があるのかについての検討を行った。

1 断水や喝水による市民生活に与える影響について

1-1 ヒアリング調査の実施について

断水や喝水による市民生活に与える影響を調査するために、行政や医療等の公的機関及び企業等を対象にヒアリング調査を実施した。

1-2 ヒアリング調査結果について

ヒアリング調査により得た主な内容は、次のとおりである。

- ① 受水槽等を持っていれば断水時や喝水の時間断水時にもある程度対応できるので、「受水槽の有無」により喝水耐力に差が出る。したがって、一般家庭においても、「戸建て」や「マンション」等の住居環境により受水槽の有無や受水槽への給水の受入れ易さが異なるため、そのことが、指標値に影響を与える可能性があると考えられる。
- ② 飲食業、理容店、クリーニング等は水道が直結式の場合が多く、断水時及び喝水時の時間断水には水を容易に調達できたとしても対応が不可能であることが分かった。このことから、江田島・呉断水事故ヒアリング調査では、外食で断水に対応した人が多数いたが、外食店舗は水道直結式が多いため断水時に休業になる可能性が高く、局地的な断水は断水エリア外で食事ができても、広範囲にわたる喝水の場合、時間断水時には外食が困難になる恐れがある。したがって、そのことが指標値に新たな影響を及ぼす可能性があると考えられる。
- ③ 大病院（災害拠点病院等）では、阪神大震災の経験を踏まえて、断水に備えた対策をとり始めているところが多い。（飲料用として受水層に0.5～1日分、雑用水として受水槽に3日分確保等）したがって、病院利用者への短期的な影響は少なくなるものと考ええる。

2 喝水耐力指標算定式の一般化に向けた課題検討

前回設定した重回帰式について、「どの要因が重要なのか」「どの要因が必要ないのか」「どの要因が指標値にどの程度影響しているのか」等を検討するため要因分析を行った。

具体的には、次の点に着目して分析を行った。

- ① 渇水耐力指標値に与える影響が大きい主要因把握
- ② 各要因におけるパラメータ値等の説明変数の設定が渇水耐力指標値に与える影響度合い

2-1 数量化 1 類による渇水耐力指標の検討手法

上記で述べた、渇水耐力指標値に影響を与える主要因を分析するための手法として数量化 1 類を用いることとした。

その検討手順について、次に述べる。

まず、すべての説明変数を用いたケースを分析し、結果を見ながら修正を加えていく。分析と説明変数の再設定を繰り返した結果、最終的に最適なモデルを算定式として設定する。また、分析に用いたサンプルは、前回同様のものとした。

この目的は、(DRI)′ を説明する主要因について分析を行うことであり、どの説明変数が重要なのか、どの説明変数が必要ないのか、どの説明変数が従属変数をどの程度説明しているのか等々について分析した。

実際の分析フローについては、図-1 に示す。

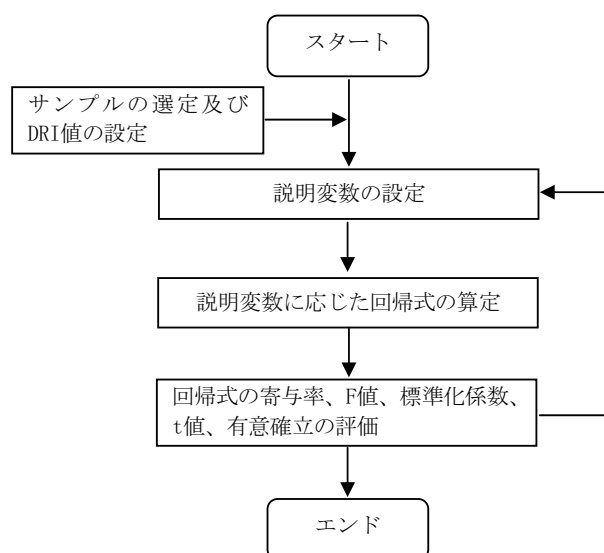


図-1 数量化 1 類による分析フロー

このように、因果関係やその影響度を観察することで、(DRI)′ の算定式の設定方法について、知見を得るとともに (DRI)′ を改善していくために今後必要となるデータやその調査方法、あるいは算定式そのものの検討についての基礎資料を与えることができる。

2-2 数量化 1 類による渇水耐力指標の検討ケース

ここでは、実際に分析を行った各要因の説明変数を示す。分析は、計算結果を見ながら各設定ケースの組み合わせを変えていくことにより行った。

① 立地要因 (地盤勾配・距離)

今回は、距離区を、「平均値との大小」と、「1) 250m 未満、2) 250m 以上 500m 未満、3) 500m 以上の 3 区分」にした場合、あるいは要因の指標への寄与度を確認するため距離自体を除いた形での要因分析を行った。また、地盤勾配については、「平均との大小」、あるいは距離と同様の理由で地盤勾配自体を除いた形での要因分析を行った。

なお、距離の 3 区分は、渇水時等に給水車が配置されるであろう住区基幹公園の自宅からの距離を目安として、1) 250m 未満、2) 250m 以上 500m 未満、3) 500m 以上に分類した。

② 資産要因 (運搬手段)

前回同様、「動力」「人力」「無し」「不明」での区分、あるいは要因の指標への寄与度を確認するため運搬手段自体を除いた形での要因分析を行った。

③ 代替要因 (代替水源)

前空同様、「代替水源の有無」「代替水源の水質の有無」での分類により、要因分析を行った。

④ 人的要因

家族構成の分類として、「高齢者がいる家庭」「子供がいる家庭」「高齢者のみの家庭」等に分けて、家族構成が指標値に与える影響について要因分析した。

高齢者は、「一般的な定義が 65 才であること」あるいは、「65 才以上の世帯を統計的に把握している自治体が存在すること」等により、今後の指標値を予測する際の基礎資料の汎用性を含め、65 才を基準に分類を行った。

2-3 数量化 1 類による渇水耐力指標の検討結果

数量化 1 類により、各ケースで計算条件を変えながら 14 ケース検討した結果、以下のことが分かった。

- ① 「代替水源の有無」が最も影響を与えている
- ② 「代替水源が無い」場合は、家族構成が高齢者のみ、運搬距離の順に水取得の困難性への影響度合いが強い

また、当研究で実施したアンケート結果を基に検討した呉市・江田島市における最適なモデル式として、次式を得た。

$$(DRI)' = 0.195f - 0.137r_1 - 0.262r_2 + 0.547$$

ここで、

f ; 65 才以上のみ

r₁ ; 代替有り水質悪し

r₂ ; 代替有り水質良し

しかし、「地盤勾配」「運搬手段」は、データ精度不足もあり、水取得の困難性との有意な関連性は今回の事例検討からは読取れなかった。

これらの検討結果を踏まえ、今後の算定式の一般化に向けた取り組みとして、断水・渇水が発生した時の実態把握手法に関する検討を行い、更なる有意なデータの蓄積を行い、それらを用いて算定式の精度向上を図る必要がある。

また、指標値を容易に予測するためには、既存のデータ活用が不可欠なことから、要因データとして入手が困難な要因は避けることが望ましい。

今回の調査では、「65 歳以上のみの世帯数」を把握している自治体が存在していることは確認しているが、「代替水源の有無」については、既存データは無いことが分かった。

今後の指標値の算定式の一般化に向けては、そのような観点からも、検討する必要があると考えられる。

3 今後の断水・渇水の実態把握手法に関する検討

2. でも述べたが、呉市・江田島市の断水事故の評価過程において、アンケート調査時のデータ精度不足等の課題を抽出することができた。そこで、将来渇水や断水が発生した時に、迅速で的確なデータの収集を行うため、実態把握手法等についても検討を実施した。

3-1 渇水耐力指標の要因項目調査について

渇水耐力指標の算定で使用したアンケート調査や、そのデータを用いての分析結果を踏まえ、断水や渇水時ににおける実態把握手法の改善点について検討し、断水時に行うアンケートの設問内容についての提案を以下に示す。

特に、次回調査時には、前回十分な精度のデータを入力することができなかった「①立地要因」や「②資産要因」では、データの蓄積を行い、本当に要因として必要が無いのかも含め再度検討が必要であると考ええる。また、今回の主要因分析により指標値に大きな影響を及ぼすことが

確認できたものについても、更に要因の説明変数による指標値への影響度合いを再確認するため、それに必要なデータの収集を行うことが望ましいと考える。

①立地要因（地盤勾配・距離）

現地調査では、データ精度不足により、指標値に影響を与えるかどうかの確認ができなかった要因の一つである。

渇水耐力指標の検討で使用した現地調査によるデータでは、地盤勾配や距離は、聞き取りによる被験者の住所と給水所との関係で求めているが、住所を把握していない、または把握していても、町字名までのみというデータが多かった。

そこで、次回調査時には、詳細な住所を把握し、ある程度の正確な地盤勾配や距離を求めることが必要であると考え、質問時に詳細な住所を尋ねるか、それを補足するような情報を入手する必要がある。

一方、個々の家から、給水所までの距離を聞いても回答を得られる可能性は低いと、ある程度の距離区分により調査を行う方が、結果としてよい精度のデータを収集することができると思われる。そこで、一番距離が困難性に影響を与える運搬手段としては徒歩が最も困難であることから、徒歩による水の運搬を考慮した距離設定区分として、住区基幹公園の自宅からの距離を目安として、1) 250m 未満、2) 250m 以上 500m 未満、3) 500m 以上の 3 分割に区分することが最適であると考えられる。

ただし、実際のアンケート調査時には、給水箇所の配置状況も考慮した上で、最終的な距離設定区分を決める必要があると思われる。

また、地盤勾配についても、給水所から自宅までの水運搬経路について「きつい登り」「登り」「平坦」「下り」「きつい下り」の 5 分類での聞き取りを行い、比較的個人差によるバラツキの無いデータ収集を行うことが望ましいと考える。

②資産要因（運搬手段）

現地調査では、データ精度不足により、指標値に影響を与えるかどうかの確認ができなかった要因の一つである。

したがって、次回調査では、データの収集を行い、再度要因分析をする必要がある。

データ内容としては、運搬手段（自家用車・バイク・

自転車・台車)の有無、喝水時の給水所周辺の交通状況や駐車場の有無による自家用車の使用状況等、実際に水の運搬にどの程度利用できたのか等について把握する必要があると考える。

③代替要因(代替水源)

当要因は、最も指標値に影響を与えた要因である。

代替水源の有無及びその水質水量、断水時の利用の有無及びその量について、使用目的(飲み水、トイレ、洗濯等)、使い勝手(汲み置き使用、蛇口に接続して使用等)も含め確認する。

また、代替水源として考えられるのは、地下水、用水路や川の引き込み等が考えられるので、どのような代替水源を有するのかについても尋ねる。

④人的要因

当要因は、「代替水源」が無い場合に、最も指標値に影響を与えた要因である。

家族構成について年齢構成等を把握する。また、基本的には65歳以上の高齢者だけの家族について確認をすることを目的とした調査を行う。

しかし、今回の研究では、「運搬時の困難性」を考慮し高齢者のみの家庭を把握するために、一般的な高齢者年齢の考え方に従い65歳以上という分類としたが、「個人差」や「地域差」等により困難性に対する感覚の違い等も考えられるため、年齢区分の設定の可否について再度確認をしておく方が望ましいと考える。そこで、次回調査時には、家族構成と同時に年齢構成も調査時に把握しておくこととする。

⑤住居の状況

当要因は、今回の検討結果により、新たに追加した要因である。

当要因については、今回の影響調査の聞き取り結果や数量化1類による主要因分析の検討時において、新たに検討が必要な要因であると考えた。

内容的には、地盤勾配の話と関連するが、被験者の住居の状況によっては、水汲みの苦勞に違いが生じるため、ある程度具体的に被験者の住居の状況、例えば何階建てマンションのどの階に住んでいるのか、エレベータは付いているのか、戸建ては平屋なのか二階建てなのか等について尋ねる必要があると考えたことによる。また、水道の給水方式が「直結式」か「受水槽」により、特に時間給水時における困難性の違いがでる

ことが分かった。

そこで、今後の調査時には、新たに当項目を追加しデータの収集を行う必要があると考える。そのデータを基に、要因分析を行い、その結果、指標値に影響を与える要因であることが確認できた際は、新たな要因として式に追加する必要がある。

⑥断水で困ったことの評価

当評価(喝水や断水時の困難性の指標値)については、各要因との関係を導く上で、必ず必要なデータであることは言うまでもない。調査方法としては、断水により経験した困難性について、被験者に自己採点してもらうこととする。

3-2 DRI 値の設定について

DRI 値は断水時に生じる困難性を評価するものであるが、その判定方法として、二通りの方法が考えられる。

- ①別の採点者が、被験者が置かれた状況、感じ方から困難性を採点する。
- ②本人に DRI 値を自己採点してもらう。

①は、被験者の状況について把握をした上で、第三者に困難性を判定してもらう方法で、客観的な視点での採点が可能だが、被験者ごとの状況把握が出来る限り偏り無く行われている必要がある。

②は、被験者本人に自身が体験した困難性を採点してもらうものであり、可能であれば、この方法によることが望ましい。ただし、被験者が自分の困難性の程度を、客観的にランク付けできるよう、ランクを判断する基準を具体的に示し、それとの比較で判断してもらうこととなる。

今回は、十分な準備が困難な中で、調査が先行したため、①によることとなったが、今後可能であれば、②による方法をとることが考えられる。場合によっては、両者による方法を行い、比較分析することも考えられる。

表－１ DRI の設定

点数	給水の 必要性	必要量確保 の困難性	内容
0	全く 無い	困難は無い	水道の出ない不便さはあり ストレスは溜まるが生活に 支障は無く、又水が無くな ることへの不安は無い
1	少し ある	少し困難を 伴う	上記と同様。ただし給水が 無くなると支障が出る
2	ある	困難はあるが 確保は可能	当面日常生活はやりくりし ているが、水の調達が負担 となっており、長期間（2 週間以上）の場合、日常生 活にかなりの支障が出る
3	ある	確保に多大な 困難を伴う	最低限の必要量は確保でき るが、水の調達が大変で、 既に日常生活にかなりの支 障が出ており、2 週間が限 界
4	ある	自力確保は、 ほぼ不可能	生命維持分（3ℓ）の水の 確保にも困難が伴い、家族 だけでは対応不可能

おわりに

前回の研究成果により、「渇水耐力指標値」の算定式を提案し、今回その算定式における各要因や要因の説明変数の渇水耐力指標に与える影響度合いの分析を行った。

その結果、次の結果を得ることができた。

- ①代替水源の有無が最も影響が強い。
- ②「地盤勾配」や「運搬手段については」今後データの蓄積により要因や説明変数の設定の妥当性を確認する必要がある。
- ③「一戸建て」「マンション」等による住居状況の違いが運搬手段等に与える影響等の新たな要因についてもデータを蓄積し要因分析を行う必要がある。

また、式の汎用性を高めるため、データ入手の容易性についても考えておく必要がある。今回、検討した要因の中では、「①立地条件」「④人的要因」については、自治体等での既存データの利用が可能と思われるが、「②資産要因」「③代替水源」については、現状把握が困難なことも分かった。今後は、各地域等における渇水耐力等を予測するため、②③のデータ入手や代替となるデータについても検討が必要であると思われる。

今回の検討結果により、前回設定した渇水耐力指標算定式により、「自治体あるいは地域単位での渇水に対する現時点での耐力状況やリスク要因の把握」を概略で掴む上での利用は可能であると考えられる。

最後に、これまでダムの開発等で行われていた渇水に関わる事業評価は、事業者側から見た評価（ダム建設を実施するか否かを決めるため、都市用水、農業用水、工業用水等に全体として必要とする容量を見積り事業の必要性を評価する等）が多く、水利用者にとってその評価手法や結果は、日常生活での実感が伴わぬもので、理解し難い面があったことを否めない。

今回の評価は、水利用者の視点に立ったリスク評価を行うことで、水利用者が、断水・渇水により生じるリスクを十分認識すると共に、事業者、水利用者双方が断水・渇水時の状況に対し、共通の視点・認識をすることができる評価手法を提案したものである。

今後は、渇水や断水の発生時にはデータの収集を速やかに行いデータの蓄積を図り、実用に耐える簡易な算定式の確立に努めたい。また、当研究が各自治体において潜在的に存在している渇水・断水リスクの回避または低減するための要因分析手法のひとつとしてご活用いただければと考える。

なお、当調査研究にあたっては、呉市・江田島市の地域住民の方々、あるいは自治体等関係機関の皆様にはアンケートやヒアリング調査にご協力頂きましたことに対し記して深く謝意を表します。