

その時、水が止まった！ —継続日数を考慮した断水の影響度評価—

第5班：石当 薫 卯城 博章 佐無田 啓 中野 慎吾
アドバイザー教員：梅本 通孝

1. はじめに

1.1 研究の背景

現在の我々の生活する社会において、電気、ガス、水道といったライフラインが整備され、そのサービスは途切れることなく、日々安全、かつ快適な生活が営めるようになってきている。同時に、私たちの生活はライフラインに大きく依存しており、災害等によって一旦ライフラインに障害が生じ、機能が停止した場合には社会活動全体に影響が波及し、基本生活も行えない状態となる危険性がある。ライフラインの障害に関する研究は様々な角度から行われている。中でも、比較的頻繁に発生する停電の生活への影響についての研究はこれまでも多く行われている[1,2].

断水の場合は、停電と比べ復旧まで時間がかかることも多く、被災者の生命に直接影響することも考えられるが、断水時の生活への影響についての調査、及び断水影響の定量的な評価手法は未だ確立されていない。また、断水が起こる頻度が少ない地域への調査は行われていない。

しかし、つくば市は「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」に指定される地域に属し、この地域はマグニチュード7程度の地震発生の可能性が示唆されている[3]. そのために、これまでつくば市では大規模な断水が発生したことはないが、今後地震により大規模・長期間の断水被害を受ける可能性がある。

1.2 本研究の目的

上記の背景を受けて、本研究では水道をテーマとして研究を行う。断水が生活に与える影響を定量的に評価するための新たな手法を提案する。また、つくば市に住む学生へのアンケート調査を通じて、被験者に日々の水道の利用状況を把握してもらい、断水時の影響や事前対策の理解を深めることも目的とする。さらに、調査結果に基づき災害発生後の行政の給水支援についても言及する。

2. 既往研究

断水の影響に関する研究、特に断水時の水道利用者への

影響度に関する評価は、未だ確立したものはないため、本章では断水の影響度評価の試み、及び関連する事例の既往研究について述べる。

2.1 地震時の上水道機能停止による生活支障の定量評価に関する研究

川崎ら(1998)[4]の研究は、地震によって生じた断水が居住生活へ与える影響を需要者側の立場で捉え、「断水による生活支障」と称してその定量化を試みた。兵庫県南部地震の被災地で供給側(水道局)の対応及び被災者の断水解消時までの生活実態について記録をもとに考察し、「生活支障」を定義し、支障度の定量評価法を提案することにより、被災地での生活支障度算定を試みた。生活の困窮度を助長させているのは、断水による水道の機能停止だけでなく、水量・時間の任意性が奪われ、更に運搬作業が付加されることとし、運搬にかかる負担の定量化も行った。断水による生活支障の定義は、通常的生活において受けていたサービス(水量及び時間の任意性と運搬作業不要)が、地震による断水によって享受できなくなるときに、通常サービスとの隔たりとして人間が感じるものであるとした。つまり、使いたいと思う時に必要な水量が確保されず、更に自宅の蛇口から直接水が出ないために、運搬作業など通常時では考えられない煩わしさを経てはじめて水が入手できるような場合のことを断水による生活支障とした。

定式化では、水量の不足によって感じる支障を効用関数から算出する方法を採用した。入手水量 X_v が通常時1人1日当たりの使用量 X_{vr} に達した時に充足度 S が1になるものとして、平方根型の関数を用い(1)式のように表した。

$$S = (X_v / X_{vr})^{1/2} \quad (1)$$

式による充足度 S を用い、入手水量不足に伴う支障度 U_{v_d} を(2)式のように表した。

$$U_{v_d} = 1 - S = 1 - (X_v / X_{vr})^{1/2} \quad (2)$$

このように、断水による水道利用者の困窮度の定量的な評価を試みたが、水道の利用目的別の重要度が考慮されていないことが課題として挙げられる。

2.2 発生時刻と継続時間を考慮した都市停電の影響度評価

秦ら(2002) [2]は、発生頻度の高い日常的に発生する規模の停電(最長 1 日程度)を対象とし、停電の発生時刻および継続時間によって変化する停電の影響を、定量的に評価できる手法を提案した。停電の影響度を、「平常時に行っている生活活動ができなくなってしまう状態」と定義し、各生活活動の重要度(価値)を評価して、「停電により妨げられた平常時ならば行っているはずの生活活動の重要度の合計」を停電の影響度として評価した。図 1 に停電影響度の時間積分の概念図を示す。本研究の対象とした断水ではなく、都市停電を対象としているが、時間経過による影響を分析した点が断水の影響度評価にも適用できると考えられる。秦らは「電力消費機器ごとに時間継続に伴う停電の影響」を評価しており、本研究では対象を水道に適用し、「水道の利用目的ごとに時間継続に伴う断水の影響」を評価した。断水影響度の時間積分に関する概念は、3 章で述べる。

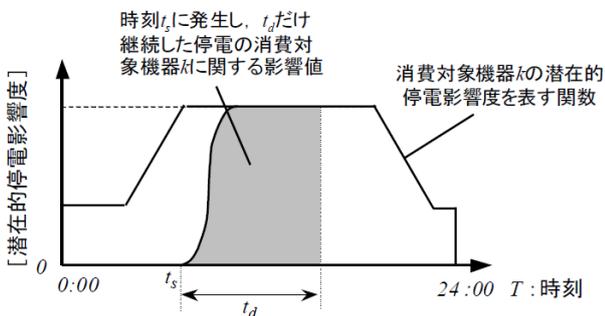


図 1 停電影響度の時間積分の概念図

2.3 利用者の視点に立った渇水耐力指標の研究

岡安ら(2008) [5,6]は、断水の発生中に住民にアンケート調査を行い、渇水による断水リスク評価を行った。そこで、これまでの断水リスク評価で考慮されてきた供給者側の視点のみならず、水道の利用者の視点から見た潜在的な断水リスクを評価すべきという発想から、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・耐性を表す数値指標の作成を試みた。本研究でも、水道利用者の断水リスク評価手法の確立の一助となるべく、対象を水道利用者と設定する。

3. 研究の概要

本章では、継続日数を考慮した断水の影響度として評価の概要、及び手法について述べる。本研究では、まず単身世帯である学生を対象としてアンケート調査を行い、水の利用目的毎の普段の使用水量および、断水時の継続日数に応じた水の調達量に関するデータを収集する。

3.1 アンケート実施概要

8 月から 9 月にかけて、筑波大学の学生を対象として調査内容に基づいて作成したアンケート調査を実施した。アンケート票はエクセルにて作成し、回答者が直接回答を入力する形式で行った。アンケート実施概要を表 1 に示す。

表 1 アンケート実施概要

調査対象	筑波大学学生
実施機関	8 月下旬～9 月上旬
回収方法	班員が立ち会い、回答者がエクセルファイルに入力
回収票数	65 票

調査対象としては、本研究では単身世帯である学生を対象とした。これは、世帯の構成員数が少なくなるに従い、一人当たりの使用水量が増し、単身世帯は最も断水による影響を受けやすいと考えられる[7]ためである。

今回のアンケートでは次の 4 点を想定条件とした。

- ・水道水が全く出ない断水状態
- ・事前対策は行っていない
- ・行政からの無料の給水支援有り
(ただし断水継続日数に応じた上限あり)
- ・ペットボトルの水は自由に購入可 (50 円/1 L)

断水とは、渇水対策マニュアル策定指針[8]によると、給水制限の一部と定義されており、何らかの原因で水の配給が止まることを指す。断水とは別に水道水の量が制限され、完全には水の配給が止まらない給水制限として減圧給水があるが、本研究で想定したのは前者の断水である。

災害や事故により急に断水が起こりうることを考慮し、断水の事前対策は行われていないと想定した。事前対策がない場合影響を評価することによって、事前対策の必要性を示すことができる。

行政の断水時の対策は、各市町村で決められており、つくば市では、つくば市地域防災計画(案) [9]が策定されている。つくば市では、断水の継続日数に応じて、応急給水供給量と給水方法が定められているため、防災計画に基づ

き行政からの無料給水支援を想定した。

断水時の継続日数に応じた水の調達量に関するデータとして、お金を払ってでも調達したい水量を収集するために、ペットボトルの水は自由に購入可とした。購入可能な水の金額は現実的な額を任意に設定した。

3.2 調査内容

東京都水道局調べの家庭用水の内訳[10]に従い、水の利用目的をトイレ、風呂、炊事、洗濯、洗面、飲料水の6つに分類する。回答者にはまず飲み水以外のトイレ、風呂、炊事、洗濯、洗面の5つの水利用目的について、その使用頻度を回答してもらうことにより、1日あたりの使用水量を算出した。アンケートで用いた使用頻度に関する回答シートを図2に示す。

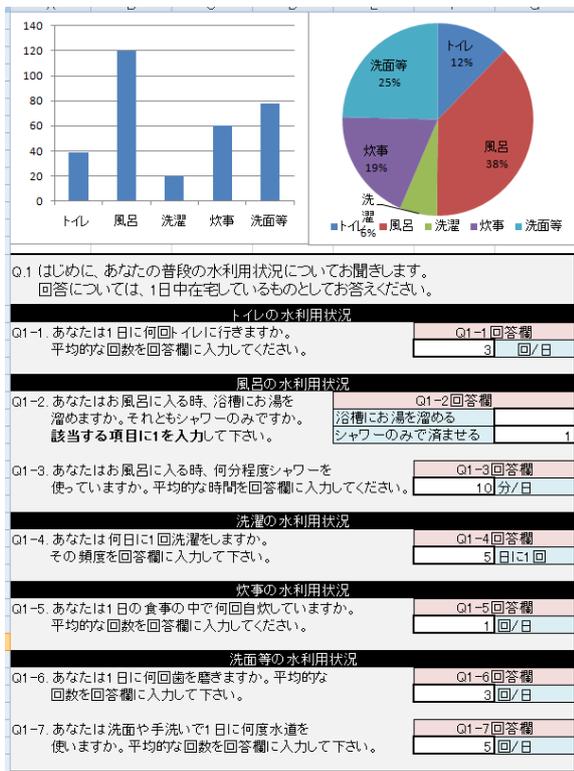


図2 使用頻度に関する回答シート

次に、アンケート調査により上記の水利用目的毎に、普段の1日当たりの使用水量、及び普段の水量から行政からの供給水量を差し引いて、さらに足りない分についてお金を払ってでも調達したい水量の2種類のデータを収集した。1日あたりの使用水量を参考として、想定条件に基づき、行政からの給水支援の6つの水利用目的への割り振りと、お金を払ってでも調達したい水の量について、それぞれの

シナリオについて回答を得た。アンケートの給水支援の割り振りと調達意思水量に関する回答シートを図3に示す。



図3 給水支援の割り振りと調達意思水量に関する回答シート

3.3 分析手法

アンケート調査によって収集したデータに基づき、水の利用目的毎に、断水の継続日数に応じた、生活維持のための労力および生活の制約の変化を算定する。そして、労力および生活の制約の変化を、継続日数を考慮した断水の影響度として評価する。断水の影響を分析するために「調達意思水量」と「許容減少水量」という2つの指標を導入する。それぞれ以下のように定式化される。

(1) 調達意思水量: $R_k[l](k=1, \dots, 20)$

調達意思水量を式(3)に示す。

$$R_k = \sum_{n=1}^k r_n \quad (3)$$

$r_n[l](n=1, \dots, 20)$ は、断水発生から n 日目の、1日に調達する水量である。すなわち、調達意思水量 $R_k[l]$ は、断水発生から k 日目までのお金を払ってでも調達したい水量の総和である。調達意思水量は、断水の継続による生活維持のための労力を反映しているといえる。

(2) 許容減少水量: $P_n[l]$

許容減少水量を式(4)に示す。

$$P_n = U - (S_n + r_n) \quad (4)$$

U は普段の1日当たりの使用水量, S_n は断水発生から n 日目に供給される行政からの水量である. また, r_n は文献[9]に基づき(5)式のように定めた.

$$S_n = \begin{cases} 3, & 1 \leq n \leq 3 \\ 20, & 3 < n \leq 10 \\ 100, & 10 < n \leq 20 \end{cases} \quad (5)$$

許容減少水量は, 断水の継続による生活の制約の変化を反映しているといえる.

調達意思水量および許容減少水量の概念図を図4に示す.

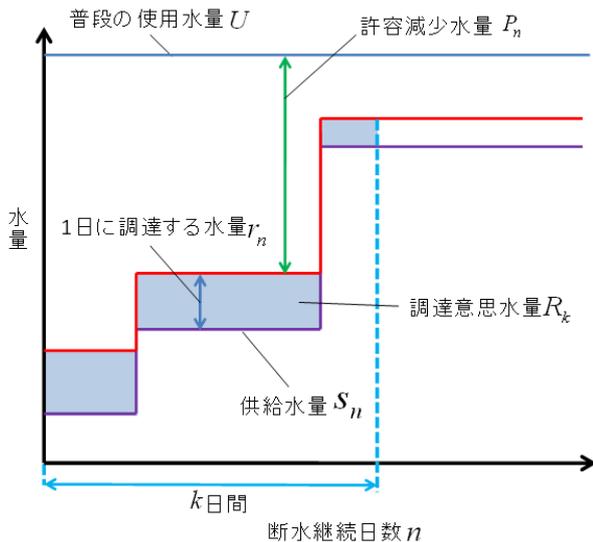


図4 調達意思水量および許容減少水量の概念図

4. 結果

アンケートから20日目までの調達意思水量および許容減少水量を図5,6に示す. 計算の結果, 調達意思水量が平均値を大きく超える1000L以上の3名は今回の分析からは除外し, 62名について分析を行った.

調達意思水量は断水時における最低限の生活維持のために調達すべき水量であり, 購入によって調達できるため, 断水の経済的影響として累積してゆく様子を表している.

また, 許容減少水量とは, 給水量と調達意思水量を足してもなお普段の平均使用量から不足している水量であり, 断水時の生活における生活の制限が給水量の増加とともに

に段階的に減ってゆく様子を表す.

次に20日目までの応急給水量と, 日ごとの各使用目的における平均調達意思水量を積み上げたグラフを図7に示す. 各線は応急給水量と日ごとの各用途における調達したい水量の累計を表している. このグラフにおける3日目まで, 4~10日目および, 11~20日目での一日の平均調達意思水量の合計は, それぞれ13L/日, 12L/日, 4.2L/日であった. ここから, 調達意思水量は給水量が増えるにつれて減少する傾向があることがわかった.

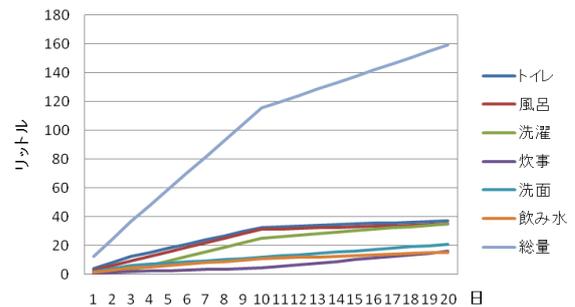


図5 調達意思水量

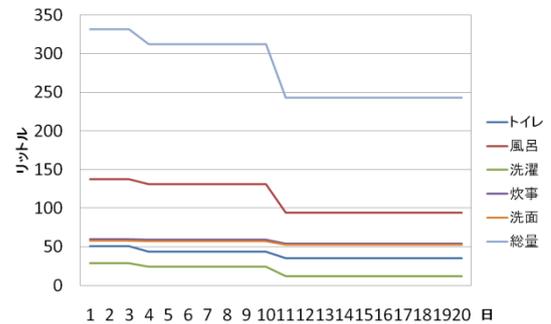


図6 許容減少水量

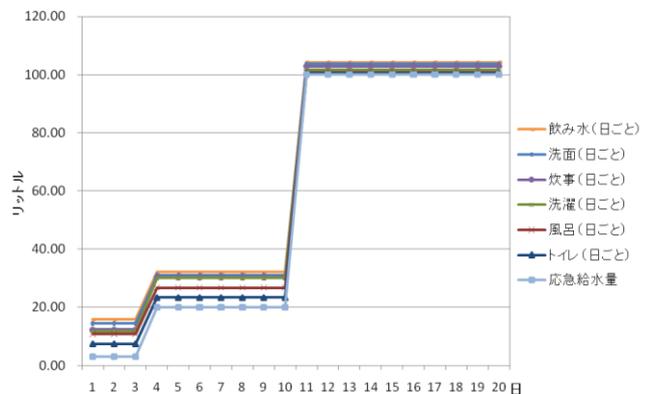


図7 応急給水量と各用途の平均調達意思水量の累積

以上から, 被災者への影響を出来る限り小さくするため

には、上記の2つの指標を出来る限り低減させることである。このとき、最も許容減少水量が大きくなるのは断水発生後3日間であり、この3日間における生活の制約を緩和させることが、被災者への影響を小さくする一つの方法である。この間、市からの給水量は3Lとなっているが、災害発生直後にこの給水量をこれ以上増やすということは、他のライフラインも含めた状況把握から復旧までの都市の復興プロセスのバランスを考慮すると困難であると考えられる。よって3日目までの最も被災者にとってストレスのかかる期間を緩和するためには、個人による事前対策が必要となる。

事前対策の有効性を考えるために、断水発生前後での水1Lが持つ効用について考察する。そのための指標として、水1Lに対する給水量の比をとって考える。断水前は、平均水道使用量までが調達する価値のある量であると考えられることから、この値を用いて効用を求めることとする。その変遷を表2に示す。ここから、断水後3日間は断水前と比較して、水1Lの持つ効用が115倍に変化していることが分かる。そして、水道の復旧が進むにつれて段階的に普段の水の効用に戻ってゆく。

よって、この3日間に利用できる分量の水を事前対策として保有しておくことによって、ストレスを軽減することができると言える。

よって、断水開始当初の3日間は給水量が少なく、水1Lの持つ効用が大きいため、わずかな量(ペットボトル数本)の水であっても、事前対策として保有しておくことによって、ストレスを大きく軽減できる。

表2 断水発生前後での水の効用の変遷

	断水前	～3日	4～10日	11～20日
効用	1/344	1/3	1/20	1/100
断水前との比較	1	115	17.2	3.44

一例として、事前に水42L(浴槽30L, ペットボトル12L)を溜めておいたと仮定し、断水開始から3日目までに消費した場合の効果を、個人の我慢の度合いを示す許容減少水量で表し、図8に示す。

42Lの水を備蓄しておくことにより、3日目までの許容減少水量を4日目以降の水準にすることが可能となる。断水開始当初の水の効用を考慮すると、3日目までの断水によるストレスを大きく低減させる効果があると考えられる。

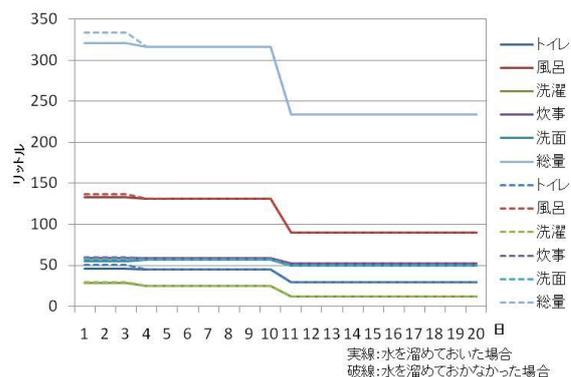


図8 許容減少水量

次に、もう一方の断水の影響を軽減する方法として、行政による応急給水支援が早まった場合について考察する。

断水発生から20日目までの調達意思水量が200L以下の人数を図9に示す。調達意思水量が200L以下の人数はアンケート全体の77%となった。

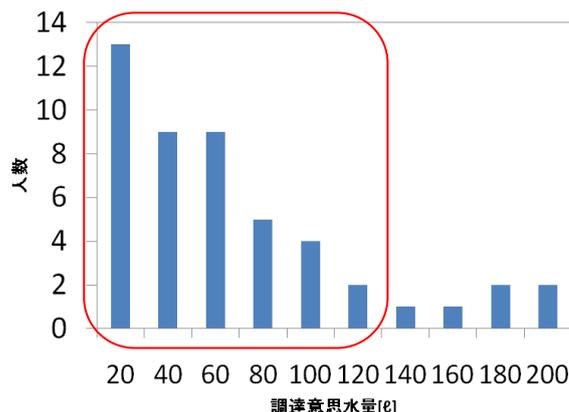


図9 断水発生から20日目までの調達意思水量が200L以下の人数

20日目までの調達意思水量が120L以下の人数は、全体の68%を占めている。浴槽に溜められる水量が200-300Lであることから、個人が溜めておける水量で断水時の調達意思水量を賄うことができると考えられる。

3日目までは個人の事前対策に効果があるが、より長期間にわたって断水が継続した場合、許容減少水量を賄うには、個人で溜められる水量では限界がある。アンケートの結果から4日目以降も調達意思のある人が全体の74%あり、個人の対策だけで対応するのは困難である。そこで、行政の給水支援をより早めることによって断水の影響を低減することが更なる断水対策として考えられる。給水支援を3日早めた場合の許容減少水量を図10に示す。給水支援を

3日早めることによって、許容減少水量を全体で約240L減少させることが可能だとわかった。4日目以降も調達意思のある人が多いほど、効果的な断水対策には行政が給水支援を早めることの必要性が表されている。

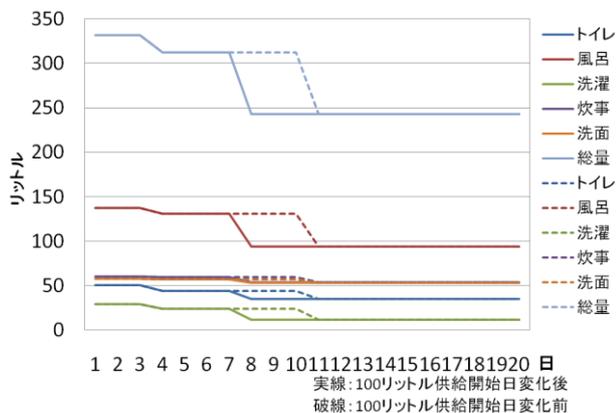


図10 給水支援を3日早めた場合の許容減少水量

5. 研究の結論と今後の課題

本研究ではつくば市における断水時の生活への影響を対象として、つくば市が計画している断水時の応急給水量に対し、水利用者が最低限必要と考える水の量を調達意思水量と定義し、断水継続日数毎にアンケートを用いて調査を行った。調査結果から事前準備と行政の給水支援という2つの対策がどのように行われるべきかを考察した。

調達意思水量は断水から4日目以降大きく増えることから、現状では11日目以降に計画されている1日100Lの給水支援が、できるだけ迅速に行われることが必要とされる。しかし、断水が起こったその時点から給水支援が行われることは不可能なので、断水から本格的な支援が行われるまでの間は、水利用者の事前対策が必要となる。具体的な対策として、普段から浴槽に3分の1程度の水の溜め置き（およそ30L）と、ペットボトルの水12L（2Lペットボトル6本入り）を1箱分準備しておくだけでも、突然の断水でも3日間のストレスを大きく軽減して生活することが可能であることがわかった。つくば市における断水対策としては、水利用者は断水から3日間利用可能な水を常備しておくこと、行政は4日目以降の給水支援を可能な限り前倒しで行われることが望ましい。

今後の課題としては、以下が挙げられる。本研究はアンケートを用いた調査を行ったが、そのサンプル数は65と十分な数ではない。サンプル数を増やした場合に同様の結果が得られるかどうか検討が必要である。また、研究の対

象を単身世帯にのみ対象にしていたが、より多くの住民に有効な断水対策を提言するためには、単身世帯のみならず、様々な世帯構成の家庭にも調査を行う必要があると考えられる。本研究では、断水時の水の価値の時系列的变化を考慮したが、水の利用についてはその用途によっても重要度が異なるため、水利用用途毎の重要度を考慮した評価も今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] 石橋絵美, 飯塚啓司, 李仁載, 長谷川康, 梅本通孝. つくば市における停電による日常生活への影響評価. 2008年リスク工学グループ演習発表, 2008.
- [2] 秦康範, 川北潤, 目黒公郎, 山崎文雄, 片山恒雄. 発生時刻と継続時間を考慮した都市停電の影響度評価. 土木学会論文集, No.717/I-61, 107-117, 2002.
- [3] 内閣府. 首都直下地震の被害想定(概要). http://www.bousai.go.jp/syuto_higaisoutei/pdf/higai_gaiyou.pdf (最終閲覧日: 2010年9月23日)
- [4] 川崎順子, 長橋純男. 地震時の上水道機能停止による生活支障の定量評価に関する研究—1995年兵庫県南部地震後の生活実態をもとにした事例研究—. 日本建築学会構造系論文集, 第503号, 45-52, 1998.
- [5] 岡安徹也. 利用者の視点に立った渇水耐力指標の研究. JICE REPORT vol12/08.02, 2008.
- [6] 水頭顕治, 岡安徹也. 利用者の視点に立った渇水耐力指標の研究(その2). JICE REPORT vol13/08.07, 2008.
- [7] 近畿地方整備局淀川水系総合調査事務所. 淀川水系断水社会実験報告書. 2009. http://www.kkr.mlit.go.jp/river/yodosou/dansui/pdf/200903_last_report.pdf (最終閲覧日: 2010年9月23日)
- [8] 厚生労働省. 渇水対策マニュアル策定指針. http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kikanri/dl/chosa-0603_07a.pdf (最終閲覧日: 2010年9月23日)
- [9] つくば市. つくば地域防災計画(案)Ⅲ地震災害警戒・応急・復旧対策計画編. http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/dbps_data/_material/_localhost/GyouseiKeiei/PublicComment/H18/18-05tiikibousaieikaku.soann.zisinn.pdf (最終閲覧日: 2010年9月23日)
- [10] 東京都水道局. 平成18年度一般家庭水使用目的別実態調査. 2006.