

地域社会における持続可能な水供給計画の立案

京都大学 ○伊藤 慎彦 1*
京都大学 中西 智宏 2**
京都大学 安井 碧 3***

水道 飲用水 未普及地域
病原細菌 浄水処理 緩速ろ過

研究の目的

人口減少が進み今後の水供給のあり方が課題となっている小規模地域を対象とし、当該地域に適した水供給システムを提示することによって、将来にわたって安全な飲料水の持続的供給を実現することを目的とする。

研究の内容

1. 水供給システムの整備方針に関する調査と評価

対象地域は、京都府福知山市北原地区（世帯数 7、居住人口 10 人）で地元管理されている水道施設である。取水した原水は上向流式緩速ろ過装置に導かれる。塩素消毒の設備はなく、そのまま各家庭へ配水されている。この既存の施設等は地元住民によって管理されており、水源地の清掃、浄水施設の維持管理等の作業を行っている。しかし、人口減少と高齢化が進む中、この体制はもはや限界に達しつつある。本研究では、北原地区全体に対する将来の整備方針を作成した後、住民の意向を反映させつつ、科学的に見て必要十分な浄水処理と消毒処理を備えた水供給システムの全体像を提示する。

水道の未普及地域を解消する従来法は、既存の集中型上水道システムに接続するものである。他に分散型システムがあり、これは原水の取水—浄水処理—配水を当該地域内で完結させる方法である。また、現在では運搬送水も水道事業の中で実施可能となっている。これは、地域内に設置する配水池等に、既存の浄水場から水を運搬する方法である。以上の 3 者について、イニシャルコストとランニングコスト（30 年間）を試算して比較した。

1-1 上水道接続

連絡配水支管を新規に合計 6,260m 敷設するものとした。配水管は、新規に 1,096m 敷設する。給水管も新規に 670m 敷設。配水池を奥北原地区と口北原地区にそれぞれ 1 か所ずつ新規に設置する必要がある。容量は各 20m³。以上の費用を合計すると 223,000 千円となった。北原地区の戸数は 7 戸であり、1 戸当たり 31,900 千円かかることを意味する。

1-2 分散型処理施設整備

分散型システムを整備する場合、導入が適切と考えられる装置とは、高知県内企業が開発した住民による維持管理が容易な処理装置と考えられた。1,400 千円と安価でもある。

通常、砂利層と砂層は 1 つの槽内に格納されているが、この装置では、その両者を別々の槽においたところが重要である。こうすることで、逆流洗浄する際に、人が洗浄を補助することができ、円滑に砂層を洗浄することができる。

この 2 槽式緩速ろ過装置を奥北原地区と口北原地区にそれぞれ 1 か所ずつ新設する。処理装置本体以外に必要なものは以下の通り。取水施設整備、次亜塩素酸注入装置、年間維持管理費。また住民による維持管理負担を労務費に換算した。以上を合計すると、20,354 千円。2 か所なので 40,708 千円と算定された。

1-3 運搬送水・給水

送・配水管を敷設せず浄水を各戸に 2 t タンク車で運搬送水・給水する場合を想定する。各戸には配水タンクを設置してもらうことになる。運搬送水・給水の算定^{5,6)}には以下の項目を組み入れた。給水車タンク容量、運転手の給与、給水所要時間、給水車購入費用、給水車走行速度、給水車維持管理費、車両の耐用年数、一人一日使用水量、世帯人数、1 回の給水量。人口 10 人に対し 30 年間給水した場合として合計額 35,390 千円を得た。

以上の費用をまとめ比較したものを表 1 に示す。上述の通り、上水道接続では 1 戸当たり 31,900 千円を要し、現実的ではない。この結果からは運搬送水・給水が最も安価であることになる。ただし、対象地域において今後人口がさらに減少していくこと、福知山市による水質検査等の維持管理費用が算入されていない点には注意が必要である。

2. 衛生的安全評価と必要な浄水処理プロセスの選定

2-1 衛生的安全評価と必要浄水処理能力

水道原水の水質検査を行ったところ、一般細菌と大腸菌はそれぞれ 29.6 CFU/mL、8.2 MPN/100 mL であった。まず、一般細菌測定値からリスク評価を行った。原水の年間感染確率を求めたが、 9.67×10^{-1} と 1.0 に近い値とな

表 1 水供給システム総費用比較(30 年間)

水供給形態	総費用(千円)
上水道接続	223,000
分散型処理施設整備	40,700
運搬送水・給水	35,400

った。対象水を非加熱で飲水していた場合、ほぼすべての人が1年に1回以上感染することを意味する。一般に、年間感染確率が 10^{-4} /人/年以下であれば安全な飲用水といって差し支えないという国際的なコンセンサスがある。したがって、この原水がもつリスクを 10^{-4} /人/年に低減させるのに必要な除去・不活化 log 数を算定し 5.9log を得た。一般細菌に由来するリスクに対しては、5.9 log の浄水処理を行えば安全な水が得られることを意味する。

次に大腸菌が検出されたことから、糞便汚染に由来するリスクを見積る。リスク評価の対象細菌は、飲水由来感染の第1位、第2位を占める病原大腸菌とカンピロバクターとした。必要浄水処理能は *E. coli* 0157:H7 に対して 4.6 log、*C. jejuni* に対して 5.3 log となり、後者の方が大きい結果となった。

以上、一般細菌数に基づく評価結果と併せて考えると、概ね 5.9 log の処理を行っておけば安全な飲料水が生産できると推定できる。

これを達成できる浄水処理プロセスとしては、①緩速ろ過＋塩素消毒、②急速ろ過＋塩素消毒が考えられる。このうち急速ろ過法では、凝集剤の注入量を制御しつつ凝集を適切に行う必要がある。安全な飲用水が得られることが前提ではあるが、住民による維持管理の容易さを考慮すると、①緩速ろ過＋塩素消毒が適当と考えられる。

2-2 2 槽式緩速ろ過法の浄化能力の把握

導入するのが適切と考えている2槽式緩速ろ過装置について技術評価を行うため、高知県内に設置・運転されている同装置の現地調査を行った。

いの町^{かしやま}檜山地区、土佐町^{つぼふち}坪湊地区、大豊町^{つげ}津家地区の3地区に設置されている処理装置を調査対象とした。測定は原則として京都大学で行ったが、一般的な水質項目の検査は環境省の登録検査機関である高知県食品衛生協会に依頼した。

細菌類を測定した結果、その除去能は概ね1桁低減する程度であった。また、砂ろ過水中にも大腸菌が残存していると指摘できた。

細菌存在量に基づいて、浄水処理において必要となる除去・不活化能を算定した。その結果、大腸菌に基づく必要除去・不活化 log 数は 6.2～6.4log であるのに対して、一般細菌に基づく必要除去・不活化 log 数は 7.8～8.6log とより大きかった。これより、安全な飲用水を得るために必要な浄水処理能は後者の 7.8～8.6log となる。

大腸菌と一般細菌の測定結果からこの2槽式緩速ろ過装置で達成されている除去能を求めところ、大腸菌に対して 0.79～1.0log、一般細菌に対して 1.2～2.1log であった。これは必要な除去・不活化能に遠く及ばない。すなわち、残りの必要な除去は塩素処理によって達成されな

ければならない。塩素消毒において必要となる不活化 log 数を求めると、大腸菌に対しては 5.3～5.6log、一般細菌に対して 6.5～7.0log を得た。概ね 7log 不活化程度の確実な塩素消毒が求められることになる。ただ、それは十分達成可能なレベルである。

3. 住民意向を反映し当該地域に適した水供給システムの提示

住民の意識を把握するため、地元管理者および水道利用者に対して対面ヒアリングを実施した。重要な点として、上記のような維持管理が容易な浄水処理装置が存在するなら、可能な限り自分たちで水供給を継続していきたいという意思が表明された。これは、運搬送水・給水を選択した場合には、福知山市に対して、市内に適用されている水道料金相当の利用料を支払う必要があるが、分散型システムを自分たちで維持できるなら、その水使用料は不要であり、必要になったときだけ費用負担すればよいという事情が大きく影響しているとみられる。この住民意向は尊重されるべきと考える。

研究の成果、新知見

上水道接続、分散型処理施設整備、運搬送水・給水の3者について、必要費用を試算した結果、運搬送水・給水がもっとも安価であった。一方、分散型処理施設との差は大きくなかった。必要な浄水処理における除去性能は 5.9log と評価した。そして、これを達成するための浄水処理プロセスとしては、緩速ろ過＋塩素消毒が適当であるとした。実際に導入・運転されている緩速ろ過装置の性能は大きくないため、塩素消毒が必須であった。住民へのヒアリングを実施したところ、維持管理が容易な浄水処理装置を利用できるなら、可能な限り自分たちで水供給を行っていきたいという意思が表明された。以上の結果を総合すると、当該地域に導入する水供給システムとしては、分散型システムが適当であるとした。

今後の予定

住民とのコミュニケーションに成功し合意に到達したが、技術的にみて最良の選択であるわけではない。残存するリスクを補償するための具体的な方策立案が今後の課題である。そのようなプロセスを経て、地域住民や行政機関とともに水供給システムを真に共創することができると考える。

謝辞

資料整理等に協力いただいた京都大学秘書 河合香織氏に謝意を表す。

1*京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・教授

2**京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・講師

3***京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・助教
Assistant Professor

1* Graduate School of Engineering, Kyoto University・Professor

2** Graduate School of Engineering, Kyoto University・Lecturor

3*** Graduate School of Engineering, Kyoto University・