

小規模集落における最適な水供給手法の検討

－手法選定に係る地域条件の分析－

(株)東京設計事務所 東京支社 ○小原 祐
馬場未央

本論文では、神奈川県内の市街地から離れた小規模集落を想定し、水源種別に応じて適用可能な水供給手法を 5 つ設定した上で、給水戸数・給水継続期間・距離の 3 つの地域条件を変数としたコストシミュレーションを行い、手法決定に関わる条件を分析した結果を報告する。最適な水供給手法は、水源種別と地域条件の組合せに基づく費用を総合的に判断して決定する必要がある。そのため、多変数の分析が可能である AI・機械学習モデルの決定木を用いて、手法決定に至るまでの条件をロジックツリー形式で可視化した。作成した決定木は汎用性が高く、水供給手法の簡易選定に用いることも可能である。

Key Words : 小規模集落、多様な水供給手法、機械学習、決定木、費用比較

1. はじめに

今後の水道事業は、給水量の減少に伴う給水収益の減少、水道施設の老朽化、水道事業に係る職員数の減少など、取り巻く環境が非常に厳しくなるといえる。特に市街地から離れた人口減少が著しい小規模集落においては、給水量が少なく得られる給水収益が少ない状況に対して、老朽化した施設の更新に要する費用負担が非常に大きくなる傾向がある。そのためこのような地域における施設更新に際しては、地域の実情を考慮した多様な給水手法の検討が必要となっている。

本検討では、水源種別に応じて適用可能な水供給手法として圧力送水、運搬送水、塩素処理、UV 処理、ろ過処理の 5 つを設定し、給水戸数、給水継続期間、距離の 3 つの地域条件を変数としたコストシミュレーションを実施し、各条件で最も安価となる手法を評価・分析した。

評価・分析に際して、シミュレーション結果を縦軸と横軸で構成される 2 次元グラフによって可視化する際に 3 つの地域条件を同時に表示することができないため、複数の地域条件を考慮した最適手法を判断することが難しい。そのため、AI・機械学習手法である決定木を活用して、手法決定に関わる地域条件を分析した。

2. 水供給手法別シミュレーション

2.1. 水源種別ごとの水供給手法

水源種別ごとの水供給手法は①水源の有無、②リスクレベル（「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」（2019年5月、厚生労働省）に基づく）、③濁度に応じて4つのパターンを設定した（**図-1**）。各検討パターンでは、それぞれ適用可能な水供給手法が異なる。

パターン1（近傍水源がない場合）は、適用可能な水供給手法は圧力送水（送水管接続）と運搬送水の2手法である。圧力送水（送水管接続）は、近傍に水源がない場合に遠方から圧送する手法である。また、運搬送水は、遠方施設から給水車で水を運搬する手法である。これらの手法は、水源があるパターン2～4においても適用可能な手法である。

パターン2（近傍水源のリスクレベルが1or2の場合）は、適用可能な水供給手法は塩素処理、圧力送水（送水管接続）と運搬送水の3手法である。塩素処理は清浄な水源に塩素処理のみを行い、水を供給する手法である。

パターン3（近傍水源のリスクレベルが3or4で濁度が低い場合）は、適用可能な水供給手法はUV処理（小型浄水装置）、圧力送水（送水管接続）と運搬送水の3手法である。UV処理（小型浄水装置）は、クリプトスポリジウム対策として、小型の紫外線処理設備を導入する手法である。

パターン4（近傍水源のリスクレベルが3or4で濁度が高い場合）は、適用可能な水供給手法はろ過処理（小型浄水装置）、圧力送水（送水管接続）と運搬送水の3手法である。ろ過処理（小型浄水装置）は濁度上昇時の対策として、小型のろ過設備を導入する手法である。



図-1 水源種別と給水手法の設定

2.2. シミュレーションの条件

2.2.1. コスト条件の設定

水供給手法別の費用は**図-2**に示す施設構成に基づいて、水源から各戸への配水管までの一式を含む総費用（整備費・維持管理費の合計）を求めるものとした。なお、想定地域の水に関する費用全体を把握するために、水道のみでなく汚水の処理に係る費用（浄化槽の整備費・維持管理費）も含めて検討した。また、設定した手法により、給水継続期間内で複数回の施設・設備の更新が見込まれる場合には、耐用年数をそれぞれ設定し、それらの更新費用を総費用に含めた。

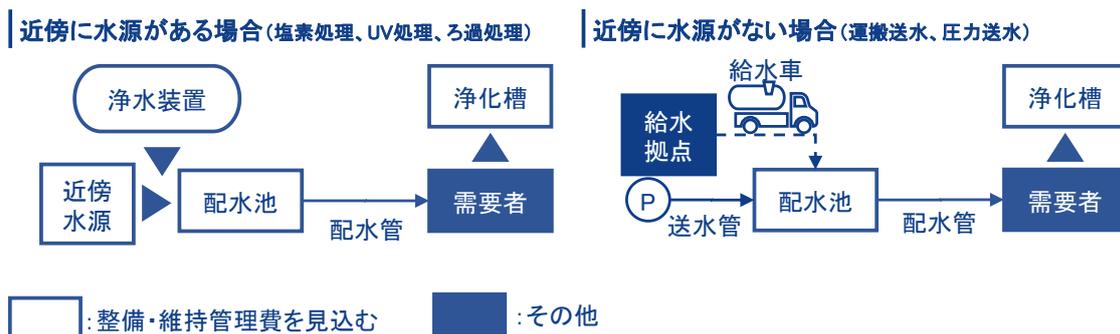


図-2 水供給手法別のコスト

2.2.2. 地域条件の設定

コストシミュレーションは地域条件を組合せて算定する（**表-1**）（例：「運搬送水、給水戸数：20、期間：15年、距離：500m」の場合は、総費用：161,429千円）。各地域条件の設定値に関して、給水戸数は、「全国の孤立可能性のある集落の推計（平成17年内閣府）」にて整理されている孤立世帯数を基に、想定する集落形態や地勢等を考慮して1～60戸とした。給水継続期間は、施設・設備の更新回数等を考慮して1～60年とした。距離は神奈川県内で多様な給水手法の導入が想定される地域における給水拠点からの距離を考慮して1～10,000m（10km）とした。この場合の全ての組合せ数は、36,000,000通り（60×60×10,000）となり、組合せ数が非常に多い。そのため、給水戸数を5戸間隔（12通り）、給水継続期間を5年間隔（12通り）、距離を500m間隔（20通り）とした組合せ数2,880通りで各水供給手法の費用を算定した。

表-1 地域条件の設定値

項目	単位	設定値の範囲	設定値の間隔	費用への反映
給水戸数	戸	1～60	5戸間隔(12通り) (5,10,15,・・・60)	水源・浄水装置・ポンプ・配水池の規模、管路口径、給水車の往復回数
給水継続期間	年	1～60	5年間隔(12通り) (5,10,15,・・・60)	施設の更新回数、維持管理費用
距離	m	1～10,000	500m間隔(20通り) (500,1000,1500,・・・100000)	給水車の運搬距離、送水管延長

3. グラフによる評価・分析と課題

3.1. 評価方法

本検討におけるシミュレーション結果を表示するには、3つの地域条件のそれぞれを変数とした場合の費用変化をグラフ化することが必要となる。したがって、2次元のグラフで表示するためには、縦軸を総費用として、横軸は地域条件のうちの1つを選定して設定することになる。そのため、3つの地域条件に対応した3種類のグラフを作成することとした。横軸に設定された地域条件以外の2つの地域条件は、**表-2**に示すとおり設定値の中間となる値で固定値とした。また、各地域条件で費用が最も安価となる水供給手法を最適手法として選定した。

表-2 グラフによる評価・分析

結果評価	地域条件の設定
給水戸数別の費用推移	【変数】横軸：給水戸数、縦軸：総費用 【固定】給水期間30年・距離5,000m
給水継続期間別の費用推移	【変数】横軸：給水期間、縦軸：総費用 【固定】給水戸数30戸・距離5,000m
距離別の費用推移	【変数】横軸：距離、縦軸：総費用 【固定】給水戸数30戸・期間30年

3.2. 評価・分析結果と課題

図-3に給水戸数別の費用推移を示す。パターン1（近傍水源がない場合）では、30戸を閾値として最適手法が分かれる。また、パターン2・3・4（近傍水源がある場合）では、塩素処理、UV処理（小型浄水装置）、ろ過処理（小型浄水装置）の水源を活用する手法が全ての期間で最適手法となる結果である。**図-4**に給水継続期間別の費用推移を示す。パターン1では、30年目を閾値として最適手法が分かれる。また、パターン2・3・4では、水源を活用する手法が全ての期間で最適手法となる結果である。**図**

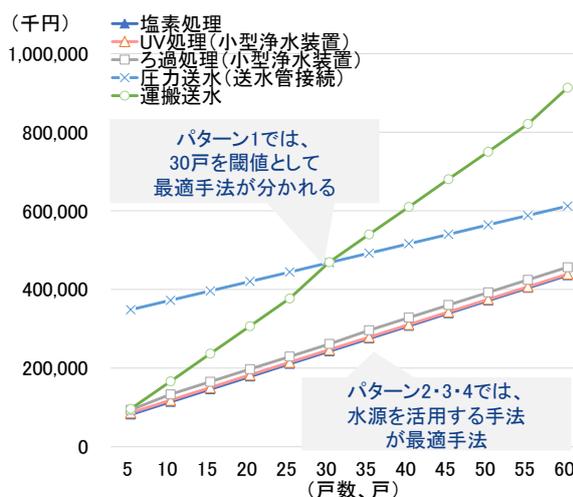
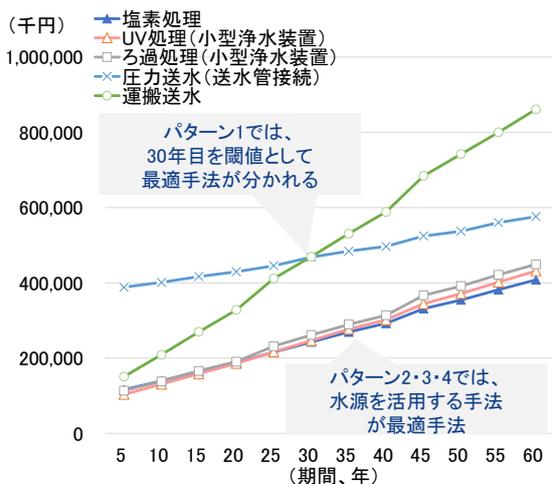
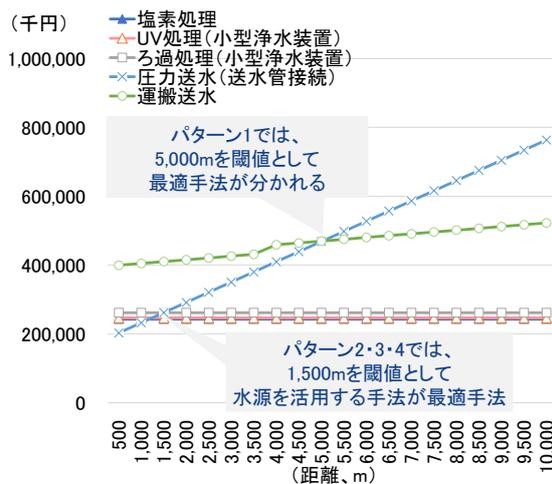


図-3 給水戸数別の費用推移

図-5に距離別の費用推移を示す。パターン1では、5,000mを閾値として最適手法が分かれる。また、パターン2・3・4では、1,500mを閾値として水源を活用する手法が最適手法となる。上記のとおり一見して適正な評価分析が可能のように思えるが、これらは地域条件を特定の値に固定した場合の結果であり、給水戸数・距離が異なる値であれば結果も異なることとなる。例えば、「給水戸数40戸・給水継続期間：50年、距離：3,000m」の場合の最適手法は、作成したグラフにはない組合せであるため、判断するには新たなグラフを作成する必要がある。このように様々な条件から、各水供給手法が最適手法となる地域条件の閾値を明らかにするためには、給水戸数・距離の全ての組合せについてグラフを作成し分析する必要があるが、これは容易ではない。



図一 4 給水継続期間別の費用推移



図一 5 距離別の費用推移

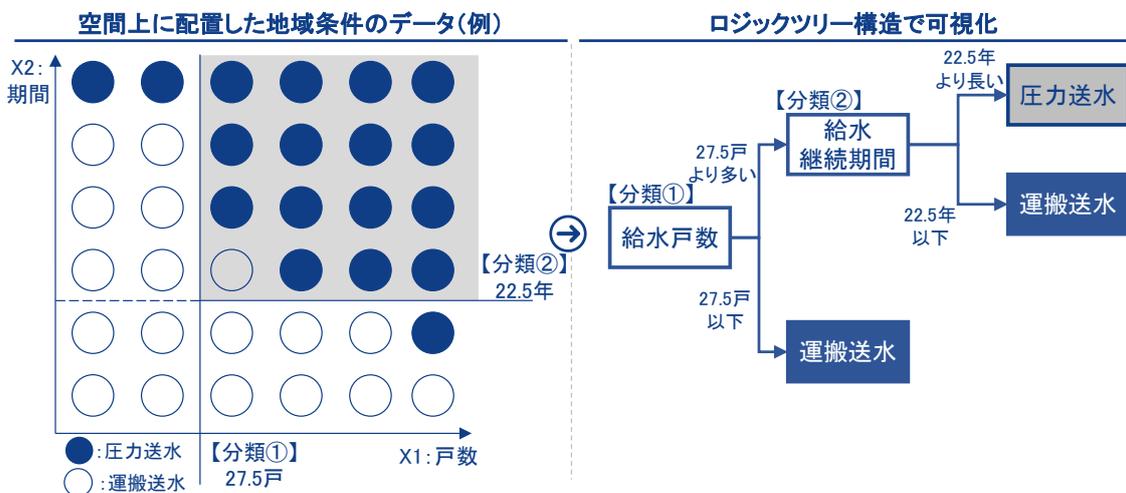
4. 決定木による分析

4.1. 決定木の概要

グラフによる評価分析の課題を踏まえて、本検討では多変数の分析が可能である AI・機械学習モデルの決定木を用いることとした。

決定木は、最も誤分類が少なくなる値で分類を行う。図一 6 に示す分析イメージでは、分類①にて横軸の戸数で 27.5 戸の位置で分類を行い、分類②で 22.5 年の位置で分類を行う。作成された各エリアで数が最も多い手法が最適手法となるという仕組みであり、図の右側で示すようにロジックツリー構造で選定条件を可視化することが可能である。

決定木には様々なパラメータがあるが、本検討では分類精度と視覚的な見やすさを考慮して、各手法が記載された末端に位置する葉の枚数を 3 枚として決定木の出力を行った。



図一 6 決定木による分析の概要

4. 2. 地域条件の分析及び最適手法の判定結果

図-7 に、決定木による閾値分析の結果を示す。圧力送水（送水管接続）は距離が 2,250m 以下かつ給水継続期間が 22.5 年より長い場合に最適手法となった（パターン 2～4）。ただし、運搬送水との 2 手法による比較（パターン 1）では、給水戸数が 27.5 戸以下又は給水継続期間 22.5 年以下の場合には運搬送水が最適手法となった。塩素処理は、距離が 1,750m より長い場合や、給水継続期間が 22.5 年以下の場合に最適手法となった（パターン 2）。UV 処理（小型浄水装置）は、塩素処理と同様の条件で最適手法となった（パターン 3）。ろ過処理（小型浄水装置）は、距離が 2,250m より長い場合や、給水継続期間が 22.5 年以下の場合に最適手法となった（パターン 4）。

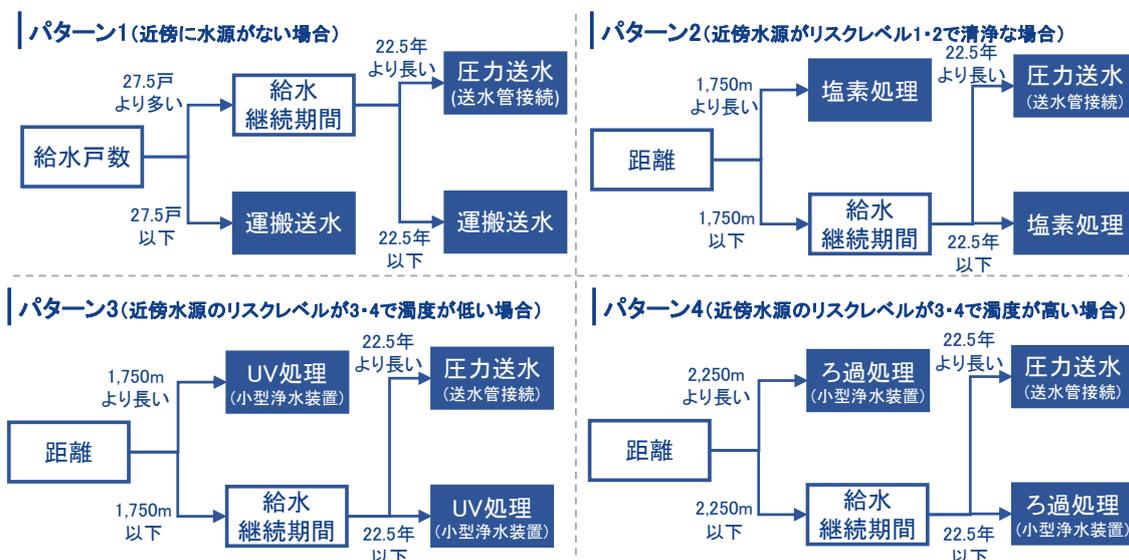


図-7 決定木による分析結果

5. おわりに

本検討では、神奈川県土地水資源対策課水政室のご指導のもと、小規模集落に導入可能性がある水供給手法を 5 つ設定してシミュレーションを行い、AI・機械学習モデルである決定木を活用してシミュレーション結果を分析した。

作成した決定木は水供給手法の簡易選定に用いることも可能であり、汎用性が高いものである。

ただし、水供給手法の決定にあたっては、各事業者の特性や導入を想定している給水区域の条件を十分に考慮する必要がある。特に本検討における運搬送水は、最適手法となる場合は少ない結果であり、人件費が高額であることによるものである。しかし、他施設の維持管理と合わせて水を運搬する等、人件費を低減させることが可能であれば採用メリットが大きくなると考えられる。