

AHP 理論を踏まえた水道事業の統合について

日本水工設計㈱ 九州支社 橋大樹

1. はじめに

本業務は、市町村合併により誕生した A 市において、上水道および簡易水道を統廃合するに当たり、水源から給水までの効率的な施設運用を行うための整備計画や水道料金格差の是正など施設面、経営面の基盤形成全般に亘る A 市水道事業基本計画を策定するためのものである。

基本計画の策定に当たっては、将来に繋げる事業展開として新市の水道ビジョンを念頭に国策との整合を図りつつ、現状および将来における課題の解決および高水準の水道を構築するため長期的・総合的な視野に立ち、安全で安定した給水サービスの実現を目指すものである。

本業務のうち、既存施設の数が多く存在したことから、なるべく簡単で、かつ客観的な視点で更新の優先順位を決定するために AHP 理論を採用したので、これを取り上げる。

2. 業務の背景と目的

A 市における合併後の水道事業は、上水道と簡易水道を合わせて 13 事業ある。現在、上水道と簡易水道それぞれが経営統合し運営しているが、水源の融通や連絡管の整備などの施設統合はされておらず、また、料金体系も旧町ごとに異なっている。

本業務の目的は、上水道、簡易水道の施設統合や水道料金格差の是正など施設、経営の基盤形成全般にわたる A 市水道事業基本計画（地域水道ビジョン）を策定することである。

表-1 A 市の水道事業の概要（実績）

	給水人口（人）	一日最大給水量（m ³ /日）
上水道	23,000	15,000
簡易水道	8,000	5,000

3. 基本方針の設定

3-1. 検討基本方針

1) 水源と供給能力

- (1) 将来の需要規模に応じた供給水源および供給施設の確保
- (2) 利用可能な水源と浄水能力の整理

2) 送配水施設の合理化および相互融通機能の検討

- (1) 送配水施設全体の整合性、機能性の確保
- (2) 再編成による配水ブロック内・外における水圧の適正化・公平化

3) 既存施設の有効利用

- (1) 100 を越える水道施設の中から早急に更新が必要な重要施設を抽出
- (2) なるべく既設構造物を利用（財政への影響を考慮）

3-2. 検討基本条件

1) 計画目標年度：平成 32 年度に設定

将来の水需要は、合併による都市構造の変化など不透明な要素もあるが、全国的な少子・高齢化の進行や社会経済の状況などから、今後、急激な人口増・水量増は考えにくく、緩やかな減少傾向となることが予想される。

しかし、過去 10 年間の実績から水道事業ごとに推計した将来の水需要は、増加傾向を示す結果が得られた。これは、過去の実績が増加傾向であったことが要因と考えられる。

2) 現況および計画一日最大給水量

現況および計画の一日最大給水量を表-2 に示す。

表-2 現況および計画一日最大給水量

	施設数	一日最大給水量実績 (m ³ /日)	計画一日最大給水量 (m ³ /日)
A 市水道事業 計	約 160	20,000	24,000

4. AHP 理論による施設更新優先度の決定

本市は 100 を超える施設を有しており、また、その多くが老朽化していることから、更新対象施設が数多くある。現在も旧町ごとに管理していることから、旧町それぞれの考えがあり、また、市全体としての意志統一も十分にはなされていない状況の中で、どの事業、どの施設から更新していくべきかを判断しなければならない。

そこで、更新の優先順位を定量的に評価するため、AHP 理論により優先度を算出することとした。

4-1. AHP 理論

いくつかの代替案の中から最も望ましい案を選択しようとする場合、選択基準があいまいであったり、多様な価値基準に惑わされたりして合理的に意志決定情報を作成できないことがある。すなわち、

- ① 評価項目間の重要度を定量的に表しにくい
- ② 評価指標に定量的なものと定性的なものが混在している

といった場合、代替案の選択が行いにくい面が多々ある。

AHP (Analytic Hierarchy Process、階層化意志決定法) は、上記のような意志決定における問題解決を図るために、ピッツバーグ大学教授の Thomas L. Saaty が開発した手法である。この AHP 理論は、評価項目の重要度 (ウェイト) の「比」をもつばら問題にしている。このような方式を、一般に比較尺度 (ratio scale) による評価と呼ぶ。つまり、AHP 理論は比率尺度による一対比較をもとに、全体としての項目間の比率尺度を決定する方法であるといえることができる。

4-2. AHP 理論の手順

AHP 理論の手順は次の 3 段階に分けることができる。

(1) 第 1 段階；問題の階層化

問題を、最終目標、評価基準、代替案の各要素に分類し、これらの階層構造を作成する。

(2) 第 2 段階 ; 要素間のウェイト付け

最終目標から見た評価基準のウェイトを求め、次に各評価基準から見た代替案の重要性を求める。AHP 理論では、このウェイト付けを次の 3 点に留意して行うことが特徴的である。

- ① 対比較 ; 各要素のウェイト付けは、2 つの要素間の一対比較により行う。
- ② ウェイトの算定 ; 一対比較により得られる「一対比較行列」より最大固有値とその固有ベクトルを求め、固有ベクトルの成分をウェイトとする。なおこれは、近似値計算法として「幾何平均」を用いて差し支えない。
- ③ 合度の評価 ; 一対比較の基準が首尾一貫しているかをチェックし、整合度が低い場合には、一対比較の判断を見直す。

(3) 第 3 段階 ; ウェイトの合成

最終目標から見た各評価基準のウェイト、各評価基準から見た代替案のウェイトを掛け算により合成し、最終目標から見た代替案のウェイトを算定する。

4-3. 要素間のウェイト付け

(1) 一対比較

AHP 理論では、各項目のウェイトを設定するにあたり、同レベルの 2 つの項目間で重要性を比較し、これより各項目のウェイトを算定する。これは「一対比較法」と呼ばれるものであり、一対比較における重要性 (一対比較値) は次のように 1, 3, 5, 7, 9 の 5 段階の値を標準とする (2, 4, 6, 8 の偶数値は補助的に用いる)。

表-3 一対比較値

一対比較値	意味
1	両方の項目が同じくらい重要
3	前の項目の方が後の方より若干重要
5	前の項目の方が後の方より重要
7	前の項目の方が後の方よりかなり重要
9	前の項目の方が後の方より絶対的に重要
2, 4, 6, 8	補間的に用いる
上の数値の逆数	後の項目から前の項目をみた場合に用いる

(2) ウェイトの算定

この一対比較を対象とする施設および評価する項目に対して行う。

一対比較を既存資料および現場踏査した結果を基に設定したが、以下の問題点があったため、浄水施設、送水施設および配水施設の比重を最も重くし、取水施設を次いで重くした。

- ・ 取水施設 : フェンスが無く危機管理面に問題あり、無認可の水源を使用
- ・ 浄水施設 : 現状で既に浄水能力不足、老朽化が見られる
- ・ 送配水施設 : 大きく容量が不足している施設あり (実際に空になることあり)、老朽化が顕著 (躯体から漏水、エフロレッセンス等)

表-4 施設の一対比較

	取水施設	導水施設	浄水施設	送水施設	配水施設	中央監視	事業規模	幾何平均	ウェイト
取水施設	1	3	1/3	1/3	1/3	5	3	1.076	0.109
導水施設	1/3	1	1/5	1/5	1/5	3	1	0.502	0.050
浄水施設	3	5	1	1	1	9	5	2.536	0.256
送水施設	3	5	1	1	1	9	5	2.536	0.256
配水施設	3	5	1	1	1	9	5	2.536	0.256
中央監視	1/5	1/3	1/9	1/9	1/9	1	1/3	0.226	0.023
事業規模	1/3	1	1/5	1/5	1/5	3	1	0.502	0.050
計								9.914	

表-5 評価する項目の一対比較

	施設	水量	水質	計装	維持管理	幾何平均	ウェイト
施設	1	3	1	3	3	1.933	0.335
水量	1/3	1	1	3	3	1.246	0.216
水質	1	1	1	3	3	1.552	0.269
計装	1/3	1/3	1/3	1	1	0.517	0.090
維持管理	1/3	1/3	1/3	1	1	0.517	0.090
計						5.765	

ここで、幾何平均とは、各値の積（データ数 n）を n 乗根した値である。

上記の施設および項目のウェイトの掛け算により、評価点にウェイトを付ける。その結果を表-6 に示す。

そして、各施設の項目に評価点を付け、その評価点にウェイトを乗じることによって、市全体でどの事業体、どの施設を優先的に更新していくかを決定する。なお、ここでは評価点にウェイトを乗じた結果を「優先度」と呼称する。

なお、評価については、表-7 のように設定する。

表-6 各施設および各項目のウェイト

施設	項目	評価点の付け方	ウェイト
取水施設	施設	耐震性に問題はないか	0.037
	水量	取水能力や計画取水量に対して、実績取水量はどうか	0.024
	水質	水質に問題はないか	0.029
	計装	水位、水量、水質等を計測しているか	0.010
	維持管理	維持管理性は良いか	0.010
導水施設	施設	耐震性に問題はないか	0.017
	水量	取水能力や計画取水量に対して、実績取水量はどうか	0.011
	水質	水質に問題はないか	0.014
	計装	水位、水量、水質等を計測しているか	0.005
	維持管理	維持管理性は良いか	0.005
浄水施設	施設	耐震性に問題はないか	0.086
	水量	取水能力や計画取水量に対して、実績取水量はどうか	0.055
	水質	水質に問題はないか	0.069
	計装	水位、水量、水質等を計測しているか	0.023
	維持管理	維持管理性は良いか	0.023
送水施設	施設	耐震性に問題はないか	0.086
	水量	取水能力や計画取水量に対して、実績取水量はどうか	0.055
	水質	水質に問題はないか	0.069
	計装	水位、水量、水質等を計測しているか	0.023
	維持管理	維持管理性は良いか	0.023
配水施設	施設	耐震性に問題はないか	0.086
	水量	取水能力や計画取水量に対して、実績取水量はどうか	0.055
	水質	水質に問題はないか	0.069
	計装	水位、水量、水質等を計測しているか	0.023
	維持管理	維持管理性は良いか	0.023

表-7 評価点

得点	内容
0	問題なし又は対象外
1	問題が少しあるため余裕を見て対応
2	対応が必要
3	近いうちに対応が必要
4	早急な対応が必要

4-4. 優先度の算出

(1) 優先度の算出例

表-8 優先度の算出例

施設	施設名	項目	問題点	評価点	ウェイト	優先度
取水施設	〇〇水源	施設	フェンスなし	2	0.037	0.074
		水量	計画日最大に対し水量不足	3	0.024	0.072
		水質	大腸菌を検出	4	0.029	0.116
		計装		0	0.010	0.000
		維持管理		0	0.010	0.000
		計				0.262
浄水施設	〇〇浄水場	施設	老朽化 (ひび割れ、鉄筋露出)	3	0.086	0.258
		水量		0	0.055	0.000
		水質	クリプト対策が未実施	4	0.069	0.276
		計装		0	0.023	0.000
		維持管理		0	0.023	0.000
		計				0.534

(2) 水道事業ごとの優先度

水道事業の施設更新の優先順位を示す。

上位 10 施設を見ると、上水道および簡易水道ともに、クリプト対策が未実施である、容量が大きく不足している、もしくは老朽化が顕著な施設が上位に挙がった。

表-9 上水道の施設更新の優先順位

順位	事業名	種別	施設名	優先度
1	F 上水道	配水施設	○○配水池	0.344
2	E 上水道	配水施設	△△配水池	0.304
3	E 上水道	配水施設	○○減圧槽	0.281
4	F 上水道	配水施設	○○水源	0.275
5	E 上水道	浄水施設	B 浄水場	0.258
〃	E 上水道	配水施設	□□配水池	0.258
〃	E 上水道	配水施設	◇◇配水池	0.258
8	F 上水道	取水施設	△△水源	0.212
9	F 上水道	取水施設	□□水源	0.201
10	F 上水道	配水施設	××配水池	0.195

表-10 簡易水道の施設更新の優先順位

順位	事業名	種別	施設名	優先度
1	J 簡易水道	浄水施設	J 浄水場	0.534
〃	K 簡易水道	浄水施設	K 浄水場	0.534
〃	L 簡易水道	浄水施設	L 浄水場	0.534
4	I 簡易水道	浄水施設	I 浄水場	0.408
5	K 簡易水道	配水施設	●●配水池	0.390
〃	S 簡易水道	配水施設	▲▲配水池	0.390
7	K 簡易水道	配水施設	○○調圧槽	0.367
8	H 簡易水道	取水施設	◇◇水源	0.360
9	R 簡易水道	取水施設	●●水源	0.346
10	J 簡易水道	配水施設	■ ■配水池	0.344

(3) 市全体の優先度

市全体で施設更新の優先順位を確認すると、ほとんどが簡易水道の施設であった。これは、簡易水道の施設の多くが整備してから更新されることがなく、老朽化が顕著であったことが要因と考えられる。

また、ウェイトを重くしている浄水施設および配水施設が上位を占める結果となった。

表-11 A 市の施設更新の優先順位

順位	事業名	種別	施設名	優先度
1	J 簡易水道	浄水施設	J 浄水場	0.534
〃	K 簡易水道	浄水施設	K 浄水場	0.534
〃	L 簡易水道	浄水施設	L 浄水場	0.534
4	I 簡易水道	浄水施設	I 浄水場	0.408
5	K 簡易水道	配水施設	●●配水池	0.390
〃	S 簡易水道	配水施設	▲▲配水池	0.390
7	K 簡易水道	配水施設	○○調圧槽	0.367
8	H 簡易水道	取水施設	◇◇水源	0.360
9	R 簡易水道	取水施設	●●水源	0.346
10	F 上水道	配水施設	○○配水池	0.344
〃	J 簡易水道	配水施設	■ ■配水池	0.344

5. 統合スケジュール

上記の優先順位を基に、市と協議を行いながら財政面に配慮し、表-12 の事業スケジュールとした。

表-12 事業スケジュール

年度(平成)	22	23	24	25	26	27	28	29以降
E 上水道							認可取得	A市水道事業
J 簡易水道			認可取得	実施設計	工事			
L 簡易水道								
K 簡易水道			認可取得	実施設計	工事			
G 簡易水道								
M 簡易水道								
N 簡易水道								
F 上水道		認可取得	実施設計	工事				
P 簡易水道		認可取得	実施設計	工事				
Q 簡易水道		認可取得	実施設計	工事	工事			
R 簡易水道			認可取得	実施設計	工事			
S 簡易水道			認可取得	実施設計	工事			
T 簡易水道								

優先順位を基に事業を絞って事業スケジュールを策定したが、その事業によって得られる主な効果を PI (業務指標) により表-13 に示す。

表-13 PI による事業の評価

		旧 C 町	旧 D 町
水源余裕率	実績	-10.7	-3.0
	計画	2.9	6.2
浄水予備力確保率	実績	-39.9	-3.1
	計画	7.3	4.9
配水池貯留能力	実績	1.0	0.6
	計画	0.8	1.0

最も大きな点は、施設更新の優先順位で 1 位となった浄水能力が不足している C 町の浄水場の更新による効果である。現状で不足している上、計画一日最大給水量に対しては半分程度の浄水能力しかないことから、更新による効果が大きく表れている。

6. おわりに

本市の有する施設の数がとても多いため、なるべく簡単で客観的かつ定量的に優先順位を決定できる方法として AHP 理論を用いた。その中で、ウェイト付けや評価点については市との協議で決定したものの、どうしても少なからず主観的要素が入ってしまう。そのため、ウェイト付けや評価点を決定するには十分な検討・確認を行う必要があると考えられる。

また、事業スケジュールを検討する際には、浄水場の更新など規模の大きな事業は事業費が高額になるため、財政への影響を考慮しなければならず、最終的には更新の優先度や財政状況、その他の制約条件などを総合的に判断して計画を策定する必要がある。

以上のことから、AHP 理論は本業において事業スケジュールを計画する上で基となるデータであり、かつ定量的な根拠という位置付けである。

以上