

### 3. 1. 3 個別水質項目に関する処理モデルの構築

濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量について、原水または浄水、および各プロセス（凝集沈澱、砂ろ過）処理水を目的変数として実施した重回帰分析の結果から、下記のような重回帰モデル式を得ることができる。

■重回帰モデル式： $y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + b$

ここで、

y：目的変数（原水水質、浄水水質、プロセス出口水質）

x：説明変数（水質、施設設計諸元、運転条件等）

a：偏回帰係数

b：定数項

各水質項目に関して、モデル式を用いた許容原水濃度等の算出例を示す。なお、重回帰分析の基になるデータには多くのデータを採用しているが、算出結果は理論的に導き出されたものではなく統計解析の結果であるため、モデル式を用いて導いた値が経験や実績から既知となっている値とは異なる場合もあり、その取り扱いには注意が必要である。

#### (1) 濁度

原水濁度、沈澱池出口濁度、ろ過池出口濁度を目的変数として重回帰分析を実施した結果を表 3-1-6～表 3-1-8 に示す。モデル式における説明変数、各説明変数の偏回帰係数（ $a_1 \sim a_n$ ）、および定数項（b）は表中に示すとおりである。また、重回帰分析に用いた各データの最小値、中央値、最大値、および標準偏差をそれぞれの表中に列記した。

表 3-1-6 原水濁度を目的変数としたモデル式

重相関係数：0.671

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
原水濁度	度	y	—	—	0.27	5.33	18.00	4.02	—	—
中PACの有無	有=1 無=0	$x_1$	3.624	$a_1$	0	0	1	—	中PACが有る場合	3.62度上昇
凝集剤年平均注入率	mg/L	$x_2$	0.073	$a_2$	9.4	28.2	102.8	18.3	10mg/L増加	0.73度上昇
混和池実滞留時間	min	$x_3$	0.276	$a_3$	1.0	2.8	25.3	4.58	1min増加	0.28度上昇
フロック形成池実滞留時間	min	$x_4$	-0.031	$a_4$	27.7	58.2	136.0	25.0	10min増加	0.31度低下
原水平均水温	°C	$x_5$	0.213	$a_5$	7.7	15.4	18.0	3.06	1°C上昇	0.21度上昇
粉末活性炭実滞留時間	時間	$x_6$	-0.251	$a_6$	0.0	0.7	3.8	1.10	1時間増加	0.25度低下
沈澱池形式（横流）	である=1 でない=0	$x_7$	1.155	$a_7$	0	1	1	—	横流式の場合	1.16度上昇
原水平均pH	—	$x_8$	0.292	$a_8$	6.7	7.4	8.1	0.320	pH1上昇	0.29度上昇
定数項	—	—	-1.894	b	—	—	—	—	—	—

$y$ （原水濁度(度)） =  $a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + b$

表 3-1-7 沈澱池出口濁度を目的変数としたモデル式

重相関係数：0.462

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
沈澱池出口濁度	度	y	—	—	0.03	0.29	0.71	0.175	—	—
稼働率	—	x <sub>1</sub>	0.057	a <sub>1</sub>	0.18	0.67	0.99	0.152	0.1 (10%) 上昇	0.006度上昇
混和池突滞留時間	min	x <sub>2</sub>	-0.015	a <sub>2</sub>	0.78	2.6	15.6	2.63	1min増加	0.02度低下
沈澱池形式(上向流)	である=1 でない=0	x <sub>3</sub>	-0.236	a <sub>3</sub>	0	0	1	0.173	上向流式 の場合	0.24度低下
沈澱池形式(傾斜装)	有=1 無=0	x <sub>4</sub>	-0.053	a <sub>4</sub>	0	1	1	0.456	傾斜装置が 有る場合	0.05度低下
浄水平均pH	—	x <sub>5</sub>	0.171	a <sub>5</sub>	6.3	7.3	7.8	0.313	pH1上昇	0.17度上昇
定数項	—	—	-0.825	b	—	—	—	—	—	—

$$y (\text{沈澱池出口濁度(度)}) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + b$$

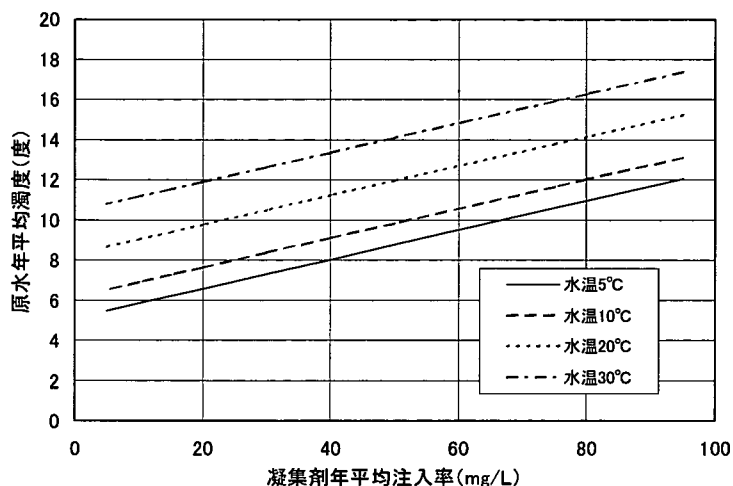
表 3-1-8 ろ過池出口濁度を目的変数としたモデル式

重相関係数：0.443

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
ろ過池出口濁度	度	y	—	—	0	0	0.05	0.010	—	—
沈澱池出口濁度	度	x <sub>1</sub>	0.005	a <sub>1</sub>	0.03	0.34	1.23	0.286	1度上昇	0.005度上昇
稼働率	—	x <sub>2</sub>	0.013	a <sub>2</sub>	0.20	0.63	0.99	0.163	0.1 (10%) 上昇	0.001度上昇
砂層厚さ	cm	x <sub>3</sub>	-0.0002	a <sub>3</sub>	25	60	76	11.2	—	—
浄水平均水温	°C	x <sub>4</sub>	0.001	a <sub>4</sub>	10.2	15.4	18.2	1.79	1°C上昇	0.001度上昇
砂有効径	mm	x <sub>5</sub>	0.023	a <sub>5</sub>	0.4	0.6	0.65	0.033	—	—
定数項	—	—	-0.021	b	—	—	—	—	—	—

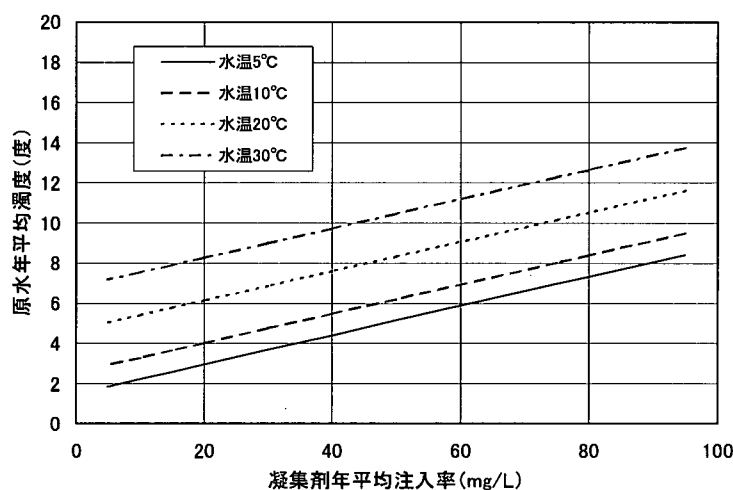
$$y (\text{ろ過池出口濁度(度)}) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + b$$

説明変数のうち、任意の説明変数1つを可変させ、残りをある一定値に固定すると、モデル式から一次関数を得ることができる。ここでは、原水濁度を目的変数としたモデル式(表 3-1-6)を用いて、凝集剤平均注入率を可変させる説明変数とし、原水年平均濁度との関係を求めた。算出結果を図 3-1-4、図 3-1-5 に示す。算出条件は、図 3-1-4 では中 PAC 注入を有りとし、図 3-1-5 では無しとした。その他の変数については、図に示すとおりである。



説明変数	条件
中PACの有無	有り
混和池滞留時間	3min
フロック形成池滞留時間	60min
粉末活性炭接触時間	0min(粉炭無し)
沈澱池形式	横流式
原水平均pH	7.5

図 3-1-4 原水年平均濁度と凝集剤年平均注入率の関係 (中 PAC 有りの場合)



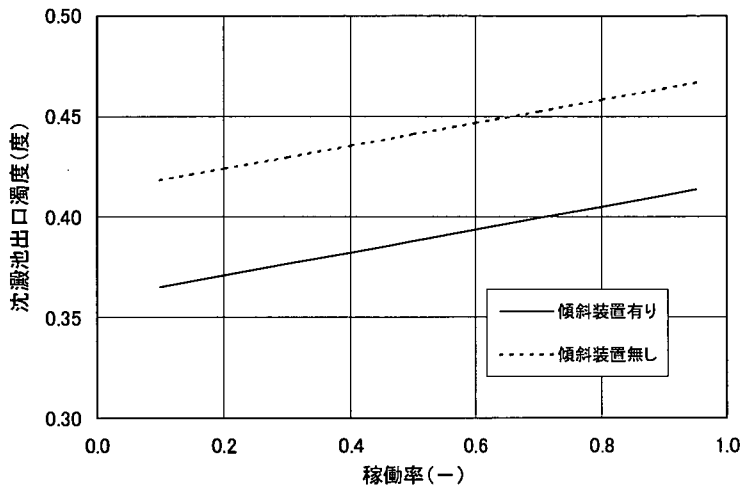
説明変数	条件
中PACの有無	無し
混和池滞留時間	3min
フロック形成池滞留時間	60min
粉末活性炭接触時間	0min(粉炭無し)
沈澱池形式	横流式
原水平均pH	7.5

図 3-1-5 原水年平均濁度と凝集剤年平均注入率の関係 (中 PAC 無しの場合)

これらのグラフからは、算出条件の設計諸元、処理条件、水質条件の浄水場では、中 PAC 注入有り、水温が 20°C の場合、濁度が 10 度の原水を処理するには凝集剤注入率を 20mg/L 程度に設定すれば良いということが読み取れる。また、水温が低いほど処理性が低下し、凝集剤注入率を増加する必要があることがわかる。図 3-1-4 と図 3-1-5 との比較から、中 PAC 注入があれば、同じ凝集剤注入率でも許容できる原水の年平均濁度が 3.62 度高くなるということがわかる。このように、導き出したモデル式に各水道事業体の浄水場の施設設計諸元や処理条件、水質条件を代入することで、原水濁度の変動に対する凝集剤注入率の算定に利用できるものと考えられる。

なお、留意すべき事項として、算出結果は理論的に導き出されたものではなく統計解析の結果であるため、得られる許容年平均原水濁度は、経験や実績から既知となっている値

とは異なる場合もあり得るということが挙げられる。



算出条件	
説明変数	条件
混和池滞留時間	3min
沈澱池形式	横流式
浄水平均 pH	7.5

図 3-1-6 沈澱池出口濁度と稼働率の関係

次に、沈澱池出口濁度を目的変数としたモデル式（表 3-1-7）を用いて、稼働率を可変させる説明変数とし、沈澱池出口濁度との関係を求めた。算出結果を図 3-1-6 に示す。算出条件は図に示すとおりである。

このグラフからは、混和池滞留時間が 3 分、沈澱池形式が上向流式でない（横流式である）、浄水 pH が 7.5 の条件において、稼働率が 0.6 の浄水場では、傾斜装置を有する場合は沈澱池出口濁度が 0.394 度に、傾斜装置が無い場合には 0.447 度になるということが読み取れ、傾斜装置を設置することで沈澱池での濁度除去性が向上することがわかる。

(2) 色度

原水色度、沈澱池出口色度、ろ過池出口色度を目的変数として重回帰分析を実施した結果を表 3-1-9～表 3-1-11 に示す。モデル式における説明変数、各説明変数の偏回帰係数 ( $a_1 \sim a_n$ )、および定数項 ( $b$ ) は表中に示すとおりである。また、重回帰分析に用いた各データの最小値、中央値、最大値、および標準偏差をそれぞれの表中に列記した。

表 3-1-9 原水色度を目的変数としたモデル式

重相関係数:0.670

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
原水色度	度	y	-		0	6.97	17.7	4.55	-	-
年平均浄水量	m3/日	X <sub>1</sub>	6.197E-06	a <sub>1</sub>	194	64135	530404	111187	10000 m3/日 増加	0.06 度 上昇
稼働率	-	X <sub>2</sub>	-2.151	a <sub>2</sub>	0.18	0.57	0.99	0.18	0.1 (10%) 増加	0.22 度 低下
粉末活性炭接触時間	hr	X <sub>3</sub>	0.617	a <sub>3</sub>	0	0.8	3.8	1.13	1hr 増加	0.62 度 上昇
粉末活性炭注入率	mg/L	X <sub>4</sub>	0.114	a <sub>4</sub>	0	5	20	5.07	1mg/L 増加	0.11 度 上昇
混和池実滞留時間	min	X <sub>5</sub>	0.107	a <sub>5</sub>	0	2.8	25.3	5.32	1min 増加	0.11 度 上昇
後混和池実滞留時間	min	X <sub>6</sub>	7.245	a <sub>6</sub>	0	0	1.4	0.18	1min 増加	7.25 度 上昇
凝集剤平均注入率	mg/L	X <sub>7</sub>	0.096	a <sub>7</sub>	0.5	25.1	102.8	16.02	1mg/L 増加	0.10 度 上昇
原水平均水温	℃	X <sub>8</sub>	0.448	a <sub>8</sub>	7.7	15.4	18	3.00	1℃増加	0.45 度 上昇
定数項	-	-	-2.664	b	-	-	-	-	-	-

$$y \text{ (原水色度(度))} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + b$$

表 3-1-10 沈澱池出口色度を目的変数としたモデル式

重相関係数:0.634

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
沈澱池出口色度	度	y	-	-	0.1	1.9	8.4	1.778	-	-
原水色度	度	X <sub>1</sub>	0.114	a <sub>1</sub>	1.2	7.5	32.2	6.074	10 度増加	1.14 度 上昇
粉末活性炭注入設備の有無	有=1 無=0	X <sub>2</sub>	-0.179	a <sub>2</sub>	0	0	1	0.448	有の場合	0.18 度 低下
浄水平均pH	-	X <sub>3</sub>	-0.989	a <sub>3</sub>	6.6	7.2	7.8	0.292	pH1 増加	0.99 度 低下
フロック形成池実滞留時間	min	X <sub>4</sub>	-0.022	a <sub>4</sub>	18.1	51.9	152.6	27.66	1min 増加	0.02 度 低下
定数項	-	-	9.366	b	-	-	-	-	-	-

$$y \text{ (沈澱池出口色度(度))} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + b$$

表 3-1-11 ろ過池出口色度を目的変数としたモデル式

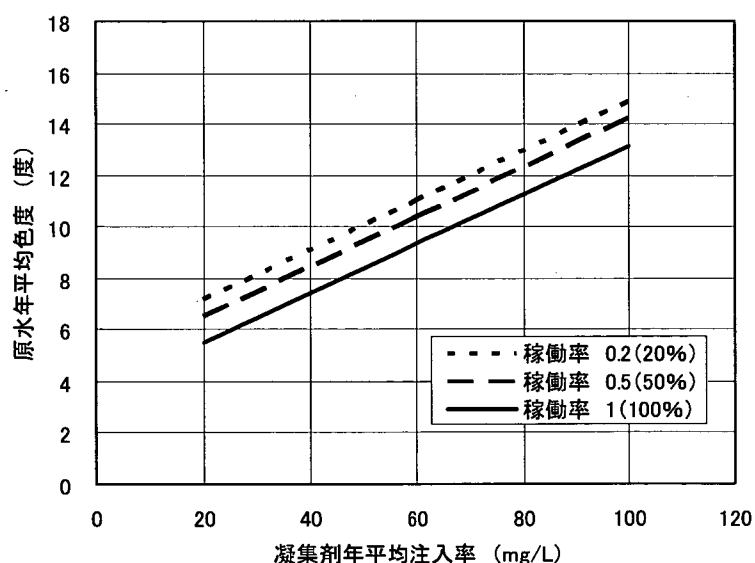
重相関係数:0.773

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
ろ過池出口色度	度	y	—		0	0	0.6	0.118	—	—
浄水平均水温	℃	X <sub>1</sub>	0.019	a <sub>1</sub>	10.2	14.9	17.3	1.850	1℃増加	0.02度上昇
中 PAC の有無	有=1 無=0	X <sub>2</sub>	0.075	a <sub>2</sub>	0	0	1	0.373	有の場合	0.08度上昇
沈澱池出口色度	度	X <sub>3</sub>	0.009	a <sub>3</sub>	0	0.85	8.5	2.026	1度増加	0.01度上昇
砂利粒径	mm	X <sub>4</sub>	0.014	a <sub>4</sub>	6	11	19	2.459	1mm増加	0.01度上昇
突ろ過速度	m/日	X <sub>5</sub>	-0.00008	a <sub>5</sub>	23.6	65.6	114.7	17.75	—	—
砂利層厚さ	cm	X <sub>6</sub>	-0.0009	a <sub>6</sub>	10	20	50	12.24	—	—
表洗ポンプの有無	有=1 無=0	X <sub>7</sub>	-0.105	a <sub>7</sub>	0	1	1	0.490	有の場合	0.11度低下
砂有効径	mm	X <sub>8</sub>	-1.005	a <sub>8</sub>	0.57	0.6	0.65	0.021	1mm増加	1.01度低下
砂層厚さ	cm	X <sub>9</sub>	-0.005	a <sub>9</sub>	40	60	70	9.566	10cm増加	0.05度低下
定数項	—	b	0.568	b	—	—	—	—	—	—

$$y (\text{ろ過池出口色度(度)}) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 + b$$

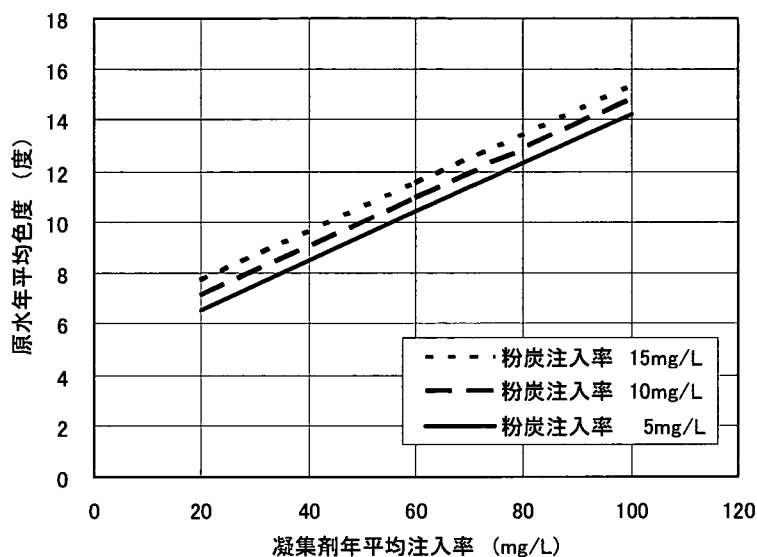
説明変数のうち、任意の説明変数1つを可変させ、残りをある一定値にすると、モデル式から一次関数を得ることができる。

例として、原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係（稼働率ごと）と、原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係（粉炭注入率ごと）と、沈澱池出口色度と原水色度との関係（pH ごと）を図 3-1-7～図 3-1-9 に示す。



説明変数	条件
年平均浄水量	60000m <sup>3</sup> /日
粉末活性炭接触時間	1hr
粉末活性炭注入率	5mg/L
混和池実滞留時間	1min
後混和池実滞留時間	0min(設備なし)
原水平均水温	15℃

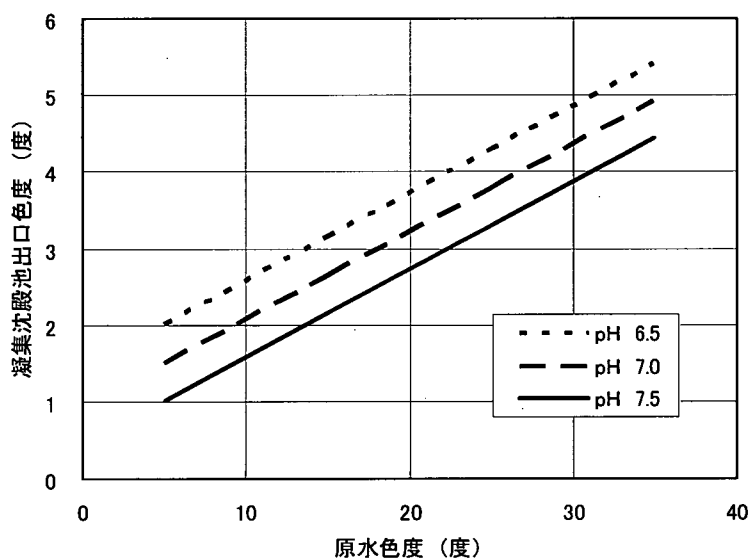
図 3-1-7 原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係（稼働率ごと）



算出条件

説明変数	条件
年平均浄水量	60000m <sup>3</sup> /日
稼働率	0.5
粉末活性炭接触時間	1hr
混和池実滞留時間	1min
後混和池実滞留時間	0min(設備なし)
原水平均水温	15°C

図 3-1-8 原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係 (粉炭注入率ごと)



算出条件

説明変数	条件
粉炭注入設備の有無	有
フロック形成池実滞留時間	60min

図 3-1-9 沈澱池出口色度と原水色度との関係 (pH ごと)

図 3-1-7 および図 3-1-8 に示すとおり、原水年平均色度は凝集剤年平均注入率と正の相関であり、凝集剤年平均注入率が高いほど許容できる原水年平均色度は大きくなることがわかる。

図 3-1-7 より、稼働率が大きいほど許容できる原水年平均色度が小さくなることが読み取れる。一例として、算出条件下で凝集剤年平均注入率が 50mg/L、かつ稼働率が 0.5 (50%) のとき、許容できる原水年平均色度は 9 度程度と解釈できる。稼働率が 1 (100%) と大きくなれば、許容できる原水年平均色度は 8 度程度となる。

図 3-1-8 より、粉炭注入率が大きいほど許容できる原水年平均色度が大きくなることが読み取れる。一例として、算出条件下で凝集剤年平均注入率が 50mg/L、かつ粉炭注入率が 5mg/L のとき、許容できる原水年平均色度は 9 度程度と解釈できる。粉炭注入率が 15mg/L と大きくなれば、許容できる原水年平均色度は 11 度程度となる。なお、解析に用いたデータにおける粉炭注入率の最大値は 20mg/L である。

図 3-1-9 より、pH が中性付近で大きいほど沈澱池出口色度が小さくなることが読み取れる。一例として、算出条件下で原水色度が 10 度、かつ原水 pH が 7.5 のとき、沈澱池出口色度は 1.5 度程度になると解釈できる。解析に用いたデータにおける原水 pH の最小値および最大値は、それぞれ 6.6、7.8 である。

なお、留意すべき事項として、算出結果は理論的に導き出されたものではなく統計解析の結果であるため、得られる許容年平均濃度は、経験や実績から既知となっている値とは異なる場合もあり得るといことが挙げられる。



### (3) 過マンガン酸カリウム消費量

浄水の過マンガン酸カリウム消費量を目的変数として重回帰分析を実施した結果を表 3-1-12 に示す。モデル式における説明変数、各説明変数の偏回帰係数 ( $a_1 \sim a_n$ )、および定数項 ( $b$ ) は表中に示すとおりである。また、重回帰分析に用いた各データの最小値、中央値、最大値、および標準偏差をそれぞれの表中に列記した。

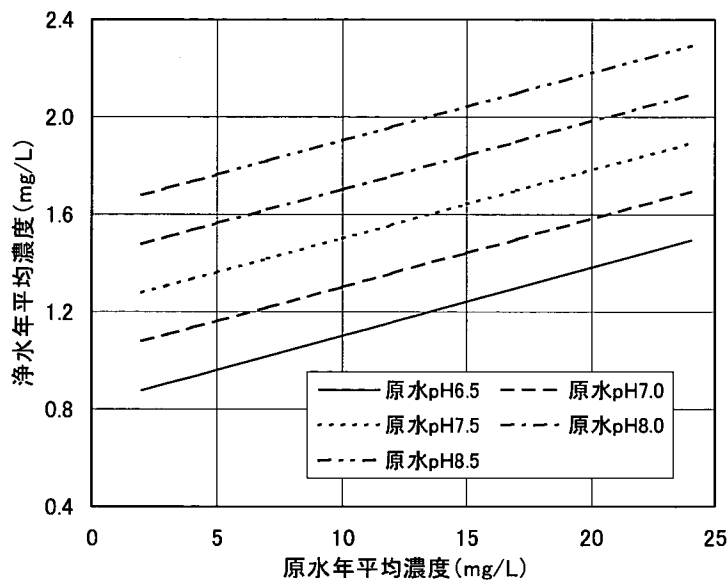
表 3-1-12 浄水の  $\text{KMnO}_4$  消費量を目的変数としたモデル式

重相関係数 : 0.615

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
浄水 $\text{KMnO}_4$ 消費量	mg/L	y	—	—	0.6	1.3	2.2	0.375	—	—
原水平均 pH	—	$x_1$	0.401	$a_1$	6.7	7.4	8.4	0.330	pH 上昇	0.4mg/L 上昇
原水平均 $\text{KMnO}_4$ 消費量	mg/L	$x_2$	0.028	$a_2$	2.7	5.0	19.5	2.82	1mg/L 上昇	0.03mg/L 上昇
ブロック形成池実滞留時間	min	$x_3$	-0.002	$a_3$	27.7	58.1	267.1	36.7	10min 増加	0.02mg/L 低下
粒状活性炭実空間速度	$\text{h}^{-1}$	$x_4$	-0.036	$a_4$	0.0	0.0	11.2	2.22	$1\text{h}^{-1}$ 増加	0.04mg/L 低下
沈殿池実滞留時間	時間	$x_5$	0.016	$a_5$	0.8	2.4	9.3	2.21	1 時間増加	0.02mg/L 上昇
粉末活性炭 CT 値	(mg/L)·hr	$x_6$	0.0002	$a_6$	0.0	2.5	143.9	20.9	10 (mg/L)·hr 増加	0.002mg/L 上昇
沈殿池形式 (横流)	である=1 でない=0	$x_7$	0.063	$a_7$	0	1	1	—	横流式の場合	0.06mg/L 上昇
稼働率	—	$x_8$	-0.007	$a_8$	0.18	0.61	0.99	0.168	0.1 (10%) 増加	0.001mg/L 低下
定数項	—	—	-1.757	b	—	—	—	—	—	—

$$y (\text{浄水 } \text{KMnO}_4 \text{ 消費量(mg/L)}) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + b$$

重回帰分析により導き出したモデル式において、ここでは、算出条件として図 3-1-10 に記すとおり、沈殿池形式を横流式とし、粒状活性炭処理は無しとした。また、ブロック形成池滞留時間を 60 分、稼働率を 0.6 (60%)、沈殿池滞留時間を 2 時間、粉末活性炭 CT 値を 2.5(mg/L)·hr として、原水 pH が 6.5~8.5 で変化した場合の目標浄水濃度と許容原水濃度の関係を求めた。



説明変数	条件
フロック形成池滞留時間	60min
粒状活性炭空間速度	0h <sup>-1</sup> (粒状炭無し)
沈澱池滞留時間	2hr
粉末活性炭CT値	2.5(mg/L)・hr
沈澱池形式	横流式
稼働率	0.6 (60%)

図 3-1-10  $\text{KMnO}_4$  消費量の浄水年平均濃度と原水年平均濃度の関係

このグラフからは、算出条件に示した設計諸元、処理条件、水質条件において、例えば原水 pH が 7.0 の場合、浄水の過マンガン酸カリウム消費量を 1.6mg/L 以下にするための原水過マンガン酸カリウム消費量の許容濃度は約 21mg/L であるということが読み取れる。また、原水の  $\text{KMnO}_4$  消費量が同じ場合でも、原水 pH が 1 高ければ浄水の  $\text{KMnO}_4$  消費量が 0.4mg/L 上昇してしまうことがわかる。このように、過マンガン酸カリウム消費量に関しても、導き出されたモデル式に施設設計諸元や処理条件、水質条件を代入することで、各水道事業者の浄水場での算定に利用できると考えられる。

なお、留意すべき事項として、算出結果は理論的に導き出されたものではなく統計解析の結果であるため、得られる許容年平均濃度は、経験や実績から既知となっている値とは異なる場合もあり得るとことが挙げられる。

### 3. 1. 4 まとめ

37 事業体、115 浄水場より提供頂いたデータを用いて重回帰分析を実施した結果から、設計諸元、運転条件等が濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量の処理性に与える影響度の傾向を示した。さらに分析から得られたモデル式を用いて各水質の許容原水濃度を算定した。本解析によって得られた主な知見を下記に示す。

#### (1) 濁度

- ①原水濁度、沈澱池出口濁度、ろ過池出口濁度を目的変数とする重回帰分析の結果、抽出された説明因子について下記の傾向が確認された。
  - ・中 PAC 注入：有り→許容原水濁度：高
  - ・凝集剤注入率：上昇→許容原水濁度：高
  - ・水温：上昇→許容原水濁度：高
  - ・稼働率：上昇→沈澱池出口濁度：高、ろ過池出口濁度：高
  - ・沈澱池形式傾斜装置：有り→沈澱池出口濁度：低
- ②重回帰モデル式にある一定値を代入し、原水年平均濁度と凝集剤年平均注入率との関係を算定した。その結果、下記の傾向が確認された。
  - ・中 PAC の注入を行えば、許容できる原水の年平均濁度が 3～4 度高くなることが示された。
  - ・中 PAC 注入有り、水温が 20℃の場合、年平均濁度 10 度の原水を処理するには凝集剤年平均注入率は 20mg/L 程度となる。

#### (2) 色度

- ①原水色度、沈澱池出口色度、ろ過池出口色度を目的変数とする重回帰分析の結果、抽出された説明因子について下記の傾向が確認された。
  - ・凝集剤注入率：上昇→許容原水色度：高
  - ・稼働率：上昇→許容原水色度：低
  - ・粉末活性炭注入率：上昇→許容原水色度：高
- ②重回帰モデル式にある一定値を代入し、原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係を算定した。その結果、下記の傾向が確認された。
  - ・凝集剤年平均注入率 50mg/L、稼働率 0.5 (50%)、粉炭注入率が 5mg/L のとき、許容できる原水年平均色度は 9 度程度であり、粉炭注入率が 15mg/L と大きくなれば、許容できる原水年平均色度は 11 度程度となる。

#### (3) 過マンガン酸カリウム消費量

- ①浄水の過マンガン酸カリウム消費量を目的変数とする重回帰分析の結果、抽出された説明因子について下記の傾向が確認された。
  - ・原水  $\text{KMnO}_4$  消費量：上昇→浄水  $\text{KMnO}_4$  消費量：高
  - ・原水 pH：上昇→浄水  $\text{KMnO}_4$  消費量：高

②重回帰モデル式にある一定値を代入し、過マンガン酸カリウム消費量の原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係を算定した。その結果、下記の傾向が確認された。

- ・原水 pH が 7.0 の場合、浄水の過マンガン酸カリウム消費量を 1.6mg/L 以下にするための原水過マンガン酸カリウム消費量の許容濃度は 21mg/L 程度である。
- ・同じ原水濃度でも、原水 pH が 1 高ければ浄水の  $\text{KMnO}_4$  消費量は 0.4mg/L 程度上昇する。

なお、本解析で得られた結果は、理論的に導き出されたものではなく、あくまでも統計解析の結果であるため、経験や実績から既知となっている値とは異なる場合もあり得る。また、重回帰分析には数多くのデータを採用しているが、算出結果は全ての浄水場にあてはまるとは限らないため、取扱いに注意が必要である。

### 3. 2 濁質除去性能評価

ここでは、急速ろ過方式の浄水場において、沈澱池、ろ過池の濁質除去性能を評価した。

評価方法としては、各浄水場より提示を受けた時間毎水質データ及び管理データをもとに統計解析等を行うことによって評価結果を定量的に示すこととした。

#### 3. 2. 1 検討方法

##### 【データ収集・整理】

各浄水場より処理プロセス単位（沈澱池、ろ過池等）時間毎の水質データ及び管理データを収集し相関分析、重回帰分析を実施するための整理を行う。

また、浄水フロー、施設概要等の基本的な諸元についても整理する。

##### 【相関分析】

濁質除去性能の評価については、主として相関分析により、沈澱池、ろ過池といった浄水プロセスの時間毎出口濁度に対する影響因子を考察した。

濁度除去処理への影響因子については、一般的な見解やデータ収集状況等を考慮し、概ね次の項目について取り上げるものとした。

原水濁質量に関する因子、原水水温に関する因子、入口pHに関する因子、凝集剤注入に関する因子、pH調整に関する因子、水量規模に関する因子、等

##### 【重回帰分析】

各浄水場において沈澱池、ろ過池といった浄水プロセスの出口濁度を目的変数とする重回帰分析を行い、浄水処理モデルを構築した。説明変数は処理水質に関係があると思われる水質項目、薬品注入率、処理水量等とした。

■重回帰モデル式： $y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + b$

┌ y (目的変数)    y : プロセス出口濁度

└ x (説明変数)    x<sub>1</sub> : 原水濁度, x<sub>2</sub> : 原水 pH, x<sub>3</sub> : 原水水温, x<sub>4</sub> : PAC 注入率, x<sub>5</sub> : 処理水量, …

\*説明変数の係数 (a) の符号がプラスの場合、目的変数と説明変数は同じ傾向（説明変数が増加すると目的変数も増加など）、マイナスの場合、目的変数と説明変数は逆の傾向（説明変数が増加すると目的変数は減少など）があり、目的変数と説明変数の関係性を知ることができる。また、相関性や影響度等の強さは偏相関係数や標準偏回帰係数等の絶対値の大きさで示すことができる。

分析は以下の方法により実施した。

- ①説明変数選択については、変数増減法によりF値2を境界値として選定した。
- ②単相関係数と偏相関係数の符号を比較し、逆転が見られる場合は多重共線性の問題が疑われるため、説明変数間で相関係数が高い項目同士のいずれかを棄却した。

③モデルの使い勝手等を考慮して最終的に説明変数が5～10程度となるように、有意性の低い説明変数や標準偏回帰係数が小さい説明変数、また、浄水技術者としての判断から不要と思われる説明変数を除外した。

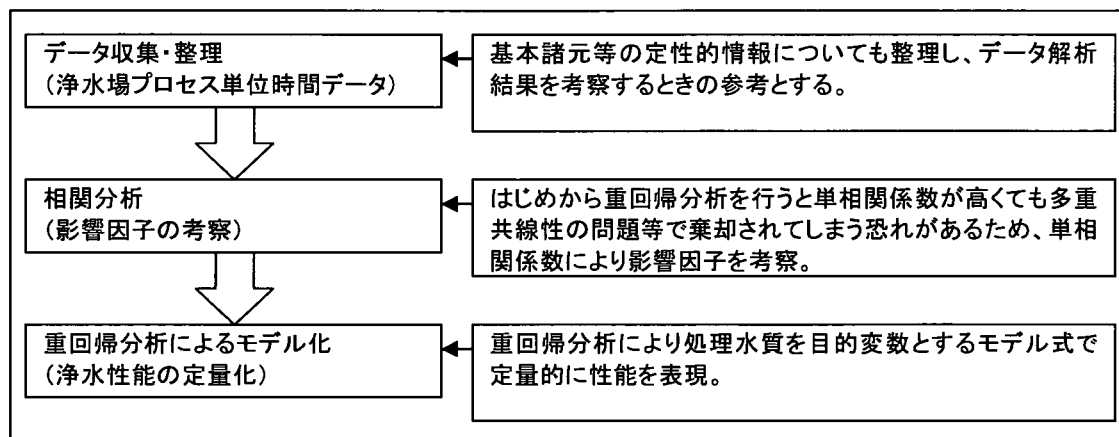


図 3-2-1 調査フロー

### 3. 2. 2 調査対象施設の概要

調査対象とした施設については、以下の表に示すA～Pまでの16箇所の浄水場である。いずれの浄水場も急速ろ過方式を主体としている。水源はダム直接と表流水（自流）がほとんどである。

表 3-2-1 調査対象浄水場の諸元

浄水場	浄水能力 (m <sup>3</sup> /日)	水源種別	浄水フロー
A	400,000	表流水(自流)、湖沼水	(粉炭)→硫酸→前塩素→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素
B	365,000	表流水(自流)	(粉炭)→前塩素→苛性ソーダ・炭酸ガス→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素
C	150,000	表流水(自流)	前塩素→苛性ソーダ→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→後 PAC→ <b>急速ろ過</b> →後塩素→苛性ソーダ
D	135,000	表流水(自流)	(粉炭)→前塩素→(苛性ソーダ)→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> → <b>粒炭ろ過</b> →後塩素→苛性ソーダ
E	60,000	表流水(自流)	(粉炭)→前塩素→(苛性ソーダ)→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→(苛性ソーダ)→ <b>急速ろ過</b> → <b>粒炭ろ過</b> →後塩素
F	141,000	表流水(自流)	<b>生物処理</b> → <b>粒炭</b> →炭酸ガス→前塩素→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素→苛性ソーダ
G	350,000	表流水(自流)	(粉炭)→前塩素→苛性ソーダ・硫酸→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素
H	49,100	表流水(自流)	粉炭→(前塩素)→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素→消石灰
I	300,000	ダム直接、表流水(自流)	<b>生物処理</b> →炭酸ガス→前塩素→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素→苛性ソーダ
J	24,000	ダム直接	粉炭→前塩素→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b>
K	80,000	表流水(自流)	苛性ソーダ→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> → <b>粒炭ろ過</b> →中塩素→後 PAC→ <b>急速ろ過</b>
L	103,000	表流水(自流)	硫酸→(粉炭)→前塩素→苛性ソーダ・硫酸→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→苛性ソーダ→ <b>急速ろ過</b> →後塩素
M	45,000	ダム直接、伏流水、表流水(自流)	<b>凝集</b> →苛性ソーダ→ <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b>
N	56,000	ダム直接	(前塩素)→(粉炭)→(前塩素)→消石灰→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素→消石灰
O	79,000	表流水(自流)	(粉炭)→前塩素→炭酸ガス→ <b>凝集</b> → <b>沈澱(横流)</b> →中塩素→ <b>沈澱(傾斜板)</b> →中塩素→ <b>粒炭ろ過</b> →中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素
P	40,500	表流水(自流)	(苛性ソーダ)→(前塩素)→粉炭→ <b>凝集</b> → <b>沈澱</b> →(後 PAC)→苛性ソーダ→中塩素→ <b>急速ろ過</b> →後塩素

\*     は槽を有する主なフロー（塩素混和池、活性炭接触槽等の薬品の反応槽は除く）

### 3. 2. 3 濁度処理影響因子の評価

#### (1) データ整理

調査対象としたA～Pで示す16箇所の浄水場について時間データを収集した。収集データ項目及びデータ数は参考として章末【収集データ（参考）】に示しているが、ここでは、後段に実施する重回帰分析の説明変数候補となる主な項目とその最高値、平均値を下表に示す（表に示したのは2005年度データ）。

データ数nは1年間で8,760点となるが（24h×365day）、データの欠落等により表記したデータ数となっている。

表 3-2-2 主な説明変数候補項目の基本諸元

浄水場	原水濁度(度)			原水水温(°C)			原水pH(-)			PAC 注入率(mg/L)			pH コントロール	
	最高	平均	n	最高	平均	n	最高	平均	n	最高	平均	n	酸	アルカリ
A	39.4	7.8	6,465	22.9	15.9	6,465	8.99	8	6,465	40	24.4	6,465	あり	—
B	338.1	14.3	8,608	30.3	15.6	8,608	8.79	7.42	8,608	67	22.7	8,608	あり	あり
C	323.2	10.5	6,332	28.2	14.7	6,332	9.26	7.65	6,332	152.2	45.4	6,332	—	あり
D	475.8	13.3	8,620	31.7	17.1	8,620	8.91	7.79	8,620	240	76.7	8,620	—	あり
E	383	14.4	6,118	28.7	15.2	6,118	9.4	7.77	6,118	1976	77	6,118	—	あり
F	48.8	5.1	8,390	30.2	17.7	8,390	8.71	7.57	8,390	70.8	30.9	8,390	あり	—
G	188	13.1	4,897	29.9	19.5	4,897	—	—	—	58.7	20.6	4,897	あり	あり
H	103	5.4	8,760	31.6	18	8,760	7.95	7.11	8,760	72.7	42.7	8,760	—	—
I	100	13.7	8,743	30.3	16.8	8,743	8.09	7.5	8,743	137.6	61.1	8,743	あり	—
J	180	8.3	8,760	21.5	12.3	8,760	—	—	—	55.7	23.6	8,760	—	—
K	305	12.8	8,539	30.7	12	8,539	9.12	7.31	8,539	144.7	29.8	8,539	—	あり
L	500	12.1	8,447	30.4	19	8,447	8.76	7.53	8,447	99.9	33.9	8,447	あり	あり
M	155.3	4.1	6,524	19.7	9.9	6,524	9.39	6.71	6,524	96	24	6,524	—	あり
N	100	2.2	8,754	25.2	15.4	8,754	8.53	7.05	8,754	27	15.1	8,754	—	あり
O	47	5.0	4,652	26.3	17.5	4,652	9	7.77	4,652	40.8	18.9	4,652	あり	—
P	102.6	13.0	8,541	31.8	18.7	8,541	8.45	7.11	8,541	142	50.1	8,541	—	あり

n : データ数

#### ①原水濁度

原水濁度については、最高で40～500度、平均で2～15度となっている。ダム等の有無、複数水源の混合利用などの状況によって、値にバラつきが出ている。D浄水場では今回収集した原水濁度データで最高値となる475.8度を処理した実績がある。

#### ②原水水温

原水水温については、最高で20～30°C程度、平均で10～20°C程度となっている。

夏期には原水水温の差が大きく、30°Cを上回る浄水場がある一方で20°C未満の浄水場もあった。

#### ③原水pH

原水pHについては、最高で8.0～9.4程度、平均で6.7～8.0程度となっている。

夏期に9.0以上となる浄水場が5箇所ほどあり、M浄水場は最高9.39に対し平均6.71でかなり変動が激しい。これについても、ダムの存在や原水の混合利用の状況等によって異



なる挙動を示すようである。

#### ④PAC 注入率

PAC 注入率については、最高で 27~240mg/L、平均で 15~77mg/L 程度となっている。

浄水場でかなり値が異なることが特徴的である。PAC 注入率が高い原因については、降雨時等における高濁度原水への対応や、水源の富栄養化等に起因する高 pH 原水への対応などが考えられる。

#### ⑤pH コントロール

pH コントロールについては、酸注入ありが 7 箇所、アルカリ注入ありが 10 箇所であった。酸注入の 7 箇所のうち、硫酸を用いているのは 3 箇所、炭酸ガスを用いているのは 4 箇所であった。

なお、重回帰分析の目的変数候補については下記のとおりである。

#### ①沈澱池出口濁度

沈澱池出口濁度については、平均で 0.2~0.6 度程度である。

ただし、突発的に濁度上昇を記録するときがあった。

#### ②ろ過池出口濁度

ろ過池出口濁度については、平均で 0.001~0.029 度となっている。

ただし、沈澱池出口濁度同様に突発的に濁度上昇を記録するときがあった。

### (2) 単相関係数の試算と考察

収集した各浄水場における時間毎データについて、沈澱池出口濁度に対する単相関係数とろ過池出口濁度に対する単相関係数を試算したものを下表に示した。

試算の対象とした変数については、先に示した①~⑦の視点に基づき、各浄水場でそれに該当する変数を抽出した。(表中の①~⑦に対応。)

①原水濁質量に関する因子：原水濁度、着水井濁度、沈澱池出口濁度等

②原水水温に関する因子：原水水温、着水井水温、浄水水温、気温等

③入口 pH に関する因子：原水 pH、着水井 pH、沈澱池出口 pH 等

④凝集剤注入に関する因子：PAC 注入率等

⑤ pH 調整に関する因子：硫酸注入率等

⑥水量規模に関する因子：原水流量、取水量、着水井流量、ろ過流量等

⑦その他：次亜注入率、アルカリ度等 (もし上記より高い相関が得られた場合抽出)

\*浄水場によって名称が異なっているため、それぞれの浄水場の収集データから該当する項目を 1 つ選定し単相関係数を試算した。

相関の強さを比較するための目安として、浄水場ごとに単相関係数の絶対値の平均を示しているが、これは計算対象とする項目種や項目数によってかなり変化するため参考値である。なお、J 浄水場の沈澱池出口毎時濁度データは入手できなかったため、計算値は示していない。

表 3-2-3 沈澱池出口濁度との単相関係数 (2005 年度)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
①	0.064	0.172	0.542	0.218	0.078	0.043	0.374	0.426	0.155		0.053	0.250	0.413	0.533	0.363	-0.006
②	-0.408	-0.042	0.296	-0.255	-0.180	-0.352	-0.116	-0.586	-0.072		0.173	0.395	-0.260	-0.113	0.191	-0.505
③	-0.435	-0.053	0.180	-0.346	0.100	0.275	-0.144	0.225	0.123		0.116	-0.078	-0.556	-0.029	-0.185	0.011
④	-0.315	0.211	0.370	-0.217	-0.134	-0.179	0.287	0.456	0.053		0.096	0.186	0.232	0.254	0.297	-0.287
⑤	硫酸 -0.599						硫酸 0.035		炭酸ガス -0.087			硫酸 -0.029			炭酸ガス -0.230	
	アルカリ	苛性 -0.014		苛性 0.122	苛性 0.060	苛性 0.011		消石灰 -0.014	苛性 -0.002		苛性 -0.048		苛性 0.206	苛性 0.024		
⑥	0.194	0.041	0.116	-0.249		-0.072	-0.009	-0.130	0.264		0.207	0.149	-0.335	0.242	-0.187	0.004
⑦				原水アンモニア 0.314		原水アルカリ度 0.234							原水導電率 0.436	原水導電率 0.244	原水導電率 -0.307	着水アルカリ度 -0.182
絶対値の平均	0.271	0.110	0.259	0.155	0.152	0.208	0.148	0.212	0.094		0.117	0.134	0.240	0.129	0.174	0.128

表 3-2-4 ろ過池出口濁度との単相関係数 (2005 年度)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
①	-0.257	0.121	0.138	-0.101	0.352	-0.225	-0.129	0.047	-0.043		0.135	0.027	0.284	0.081	-0.085	-0.180
②	0.178	-0.026	0.522	-0.308	0.135	-0.352	0.652	-0.089	0.529	-0.207	0.440	0.108	-0.286	-0.113	-0.258	0.562
③	0.085	0.162		0.530	0.252	-0.432	0.562	0.058	-0.289	0.599	-0.074	0.014	-0.031	0.130	0.322	0.037
④	-0.114	0.138		-0.315	-0.084	0.446	-0.072	-0.047	0.519	0.346	0.064	-0.068	-0.021	0.033	-0.038	0.121
⑤	硫酸 0.335	0.459					硫酸 0.579		炭酸ガス -0.138		0.198	硫酸 -0.020			炭酸ガス 0.195	
	前アルカリ			苛性 -0.219	苛性 -0.105	苛性 -0.007		消石灰 -0.003	苛性 -0.027		苛性 -0.108		苛性 0.156	苛性 -0.058		
	中アルカリ	苛性 -0.062						消石灰 -0.001			苛性 0.481					
⑥	-0.108	-0.036	-0.036	-0.109		0.179	0.042	0.010	0.104	-0.139	0.157	0.205	-0.456	0.061	0.168	0.149
⑦		導水導電率 0.210		原水アルカリ度 0.486		ろ水アルカリ度 -0.374				導水導電率 0.334		原水導電率 0.395	ろ水導電率 0.400			着水アルカリ度 0.504
絶対値の平均	0.166	0.141	0.256	0.223	0.170	0.288	0.371	0.033	0.232	0.152	0.177	0.178	0.177	0.068	0.142	0.157

□ : 平均を上回るプラスの相関、○ : 平均を上回るマイナスの相関

## 1) 沈澱池出口濁度について

- ①原水濁度との相関はP浄水場においてマイナスであるが、ほぼ0と見なせる値であり、それを除くと各浄水場でプラスとなっている。また、10箇所の浄水場でかなり高い値で抽出されており、沈澱池出口濁度は原水濁度の影響を強く受けていることがわかる。
- ②原水水温との相関は15箇所の浄水場のうち、11箇所の浄水場でマイナスと算定されたが、残り4箇所の浄水場ではプラスでかなり高い値となった浄水場もあった。一般に水温が高い時期には、フロック形成が円滑に行われるなど処理性能が上がると想定されるので、この結果は妥当と考えられる。ただし、水温が高い時期に藻類等の処理し難い濁質が増加した場合、処理水濁度が上昇することも考えられる。
- ③原水pHとの相関については、15箇所の浄水場のうち7箇所でプラス、8箇所でマイナスとなった。硫酸注入を実施している3箇所の浄水場では、いずれもマイナスの相関であり、データ数が少ないので定かではないが、高pH時に酸注入によって凝集適正pHにコントロールされるため、高pH時の方がむしろ処理性が良くなっている可能性がある。炭酸ガスによるコントロールでは、プラスとマイナスの符号が1箇所ずつあった。これもデータ数が少なく不明であるが、硫酸に比べるとpHへの寄与が緩やかなことからそのような傾向となっている可能性がある。
- ④PAC注入率との相関については、10箇所の浄水場でプラス、5箇所の浄水場でマイナスとなった。マイナスの相関については、PAC注入率を増やせば処理水濁度が低下するというを示しており、一般的な認識に合致する。プラスの相関については、高濁度時のPAC注入率が不足しているか、過剰注入のため沈澱水濁度の上昇が起こっているなどの原因が考えられる。
- ⑤酸注入率との相関については、1箇所の浄水場でプラス、4箇所の浄水場でマイナスとなっている。プラスの浄水場でもほとんど0に近い値なので、酸注入がかなり効果的に沈澱池出口濁度低減につながっている可能性がある。  
アルカリ注入率との相関については、5箇所の浄水場でプラス、4箇所の浄水場でマイナスと算定されたが、他の項目に比較するとやや低い絶対値となっていて処理水濁度との相関は弱いものと推定される。
- ⑥水量規模との相関については、8箇所の浄水場でプラス、7箇所の浄水場でマイナスとなった。一般に、処理水量規模が多くなれば、施設の余裕がなくなり処理水質を悪化させる方向(相関係数でプラス側)に傾くと考えられるが、浄水場によって結果が異なった。ただし、後段の重回帰分析では、正の相関で抽出されることが多い因子である。
- ⑦その他の要因としては、導電率、アルカリ度、アンモニア態窒素等の相関係数が高かったが、一致した傾向は得られなかった。

## 2) ろ過池出口濁度について

- ①原水濁度との相関については、16箇所の浄水場のうち、8箇所の浄水場でプラス、8箇所の浄水場でマイナスとなった。原水濁度は沈澱池出口濁度には影響するものの、ろ過

池出口濁度に対しては明確な傾向は見いだせなかった。ただし、原因は不明であるが、数値的にかなり高い絶対値となっている場合もあった。

- ②原水水温との相関については、8 箇所の浄水場でプラス、7 箇所の浄水場でマイナスと算定された。一般に水温が高い時期は、水理的に処理に有利と考えられる反面、季節的な藻類増殖等の影響で、ろ過閉塞等が発生しやすくなる等処理に不利とも考えられる。
- ③ろ過池入口 pH との相関については、11 箇所の浄水場でプラス、4 箇所の浄水場でマイナスと算定された。ろ過池入口の pH が、ろ過に直接寄与することは考えにくいですが、pH が高いときは、前段の凝集・沈殿が適正に実施されていない可能性もあると考えられる。
- ④PAC 注入率との相関については、7 箇所の浄水場でプラス、8 箇所の浄水場でマイナスと算定された。プラス側の方が高い相関係数を示していることから、PAC 注入率が高いとろ過池出口濁度が上昇する可能性があるが今のところ定かな理由はない。  
後 PAC 注入率については、実施している（データが存在する）3 箇所の浄水場において、プラスの相関があった。一般に、後 PAC はピコプランクトン流出対策として注入される場合が多いろ過池出口濁度の上昇が確認されたとき実施されるため、相関が高くなったものと考えられる。
- ⑤酸注入率との相関については、3 箇所の浄水場でプラス、2 箇所の浄水場でマイナスと算定されたが、明確な傾向は不明である。  
前アルカリ注入率との相関については、1 箇所の浄水場でプラス、7 箇所の浄水場でマイナスの相関があったがやや絶対値が小さい。  
中アルカリ注入率との相関については 1 箇所の浄水場でプラス、2 箇所の浄水場でマイナスの相関があった。サンプルが少ないため、明確な傾向は不明である。
- ⑥水量規模との相関については、9 箇所の浄水場でプラス、6 箇所の浄水場でマイナスと算定された。相関係数がプラスということは、処理水量が増加するとろ過池出口濁度が上昇することを示している。
- ⑦その他の因子については、アルカリ度、導電率との相関がプラスで抽出されることが多かった。