

図-1 愛国浄水場水処理フロー

- (1) 着水井に粉末活性炭注入開始(臭気対策)。
- (2) アンモニアが高濃度にて流入時には導水管入口に次亜塩注入開始。
- (3) 凝集剤注入率を少し高めに設定。
- (4) 中次亜塩注入率を少し高めに設定。

③ 原水(着水井)濁度計にて濁度上昇

- (1) 凝集沈殿池処理状態の確認(目視)
- (2) 手分析にて原水水質測定、連続計器指示値と比較。
- (3) ジャーテスト実施、凝集剤等薬品注入率を適正值に変更。
- (4) 原水アルカリ度低にて着水井に苛性ソーダ注入開始。
- (5) 沈殿水濁度、濾過水濁度確認(手分析)。
- (6) 状況により凝集剤、活性炭、次亜塩、苛性ソーダ注入率を適宜変更。
- (7) ・・以後、凝集沈殿池処理状態確認及び適宜ジャーテスト実施する。

高濁度原水流入時において、処理可能な原水濁度上限として 500 度を設定している。原水濁度上昇による浄水処理停止～再運転開始における処理対応フローを図-2 に示す。

高濁度原水処理フロー図

2007年6月27日

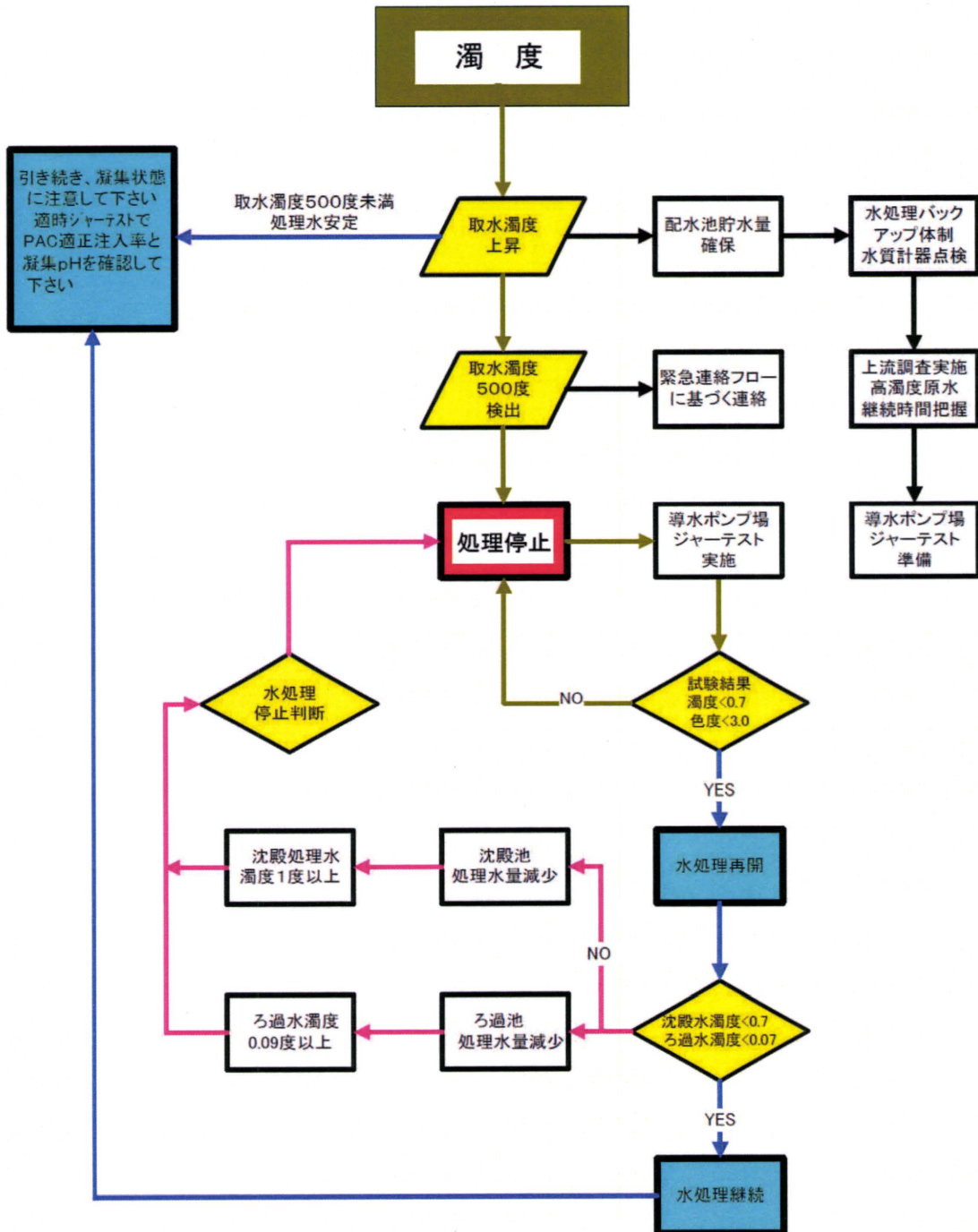


図-2 高濁度原水処理フロー

2) 神奈川県内広域水道企業団(相模原浄水場、綾瀬浄水場)

神奈川県内広域水道企業団の相模原浄水場(2010年9月8日～9月28日)の高濁時について(原水濁度 100 度以上の上昇が4回)、浄水処理・排水処理・水処理薬品のデータの整理及び解析、綾瀬浄水場(2007年9月7日～10日)の高濁時について、排水処理のデータの整理、解析を行った。両事例ともに、台風が原因の降雨により取水している河川が濁ったのが高濁度の原因である。なお、水質到達時間を考慮し時間を合わせたデータについて分析、解析に使用した。

2-1) 施設概要

相模原浄水場及び綾瀬浄水場の概要を表-1に示す。両浄水場とも、浄水処理は凝集沈でん-急速ろ過であり、相模原浄水場は4系統、綾瀬浄水場は2系統ある。しかし、相模原浄水場では2010年9月は工事のため1系統は処理停止を行っており、3系統で処理を行っていた。凝集剤はPACで二段凝集処理を行っている。また、原水が高pH時のpH調整に沈でん池前で硫酸を注入している。

表-1 浄水場の概要

	相模原浄水場	綾瀬浄水場
水源	酒匂川表流水；上流に丹沢湖 相模川表流水；上流に相模湖・宮ヶ瀬湖 の混合水	相模川表流水上流に相模湖・宮ヶ瀬湖 (融通運用時) ；酒匂川表流水)
原水水質	両水系とも水質保全状況は概ね良好だが、降雨時や農薬散布時期又は突発的な水質汚染で一時的に悪化することがある。 2008年度平均値 相模原；原水濁度 6.4度、原水水温 16.1℃、綾瀬；原水濁度 6.3度、原水水温 16.1℃	
高濁度原水流入要因	水源流域による降雨	
計画1日最大給水量 (m ³ /日)	490,700	465,000
濁度の質	粘土系	
凝集剤注入方式・能力	注入方式；調節弁能力；最大200L/h×8	注入方式；調節弁能力；20～600L/h×4
凝集剤貯蔵量	120m ³ ；1槽 210m ³ ；2槽 合計；540m ³	93m ³
薬品沈でん池	横流式傾斜板	横流式傾斜板
急速ろ過	砂 単層ろ過	アソサイト・砂 複層ろ過
排水処理方式：能力	加圧脱水 14.5ds-t/日 (設計値)	加圧脱水 標準時；11.5ds-t/日 (設計値) 高濁時；35.0ds-t/日 (設計値)

2-2) 水処理設備フロー

図-3 に相模原浄水場、図-4 に綾瀬浄水場のフローを示す。

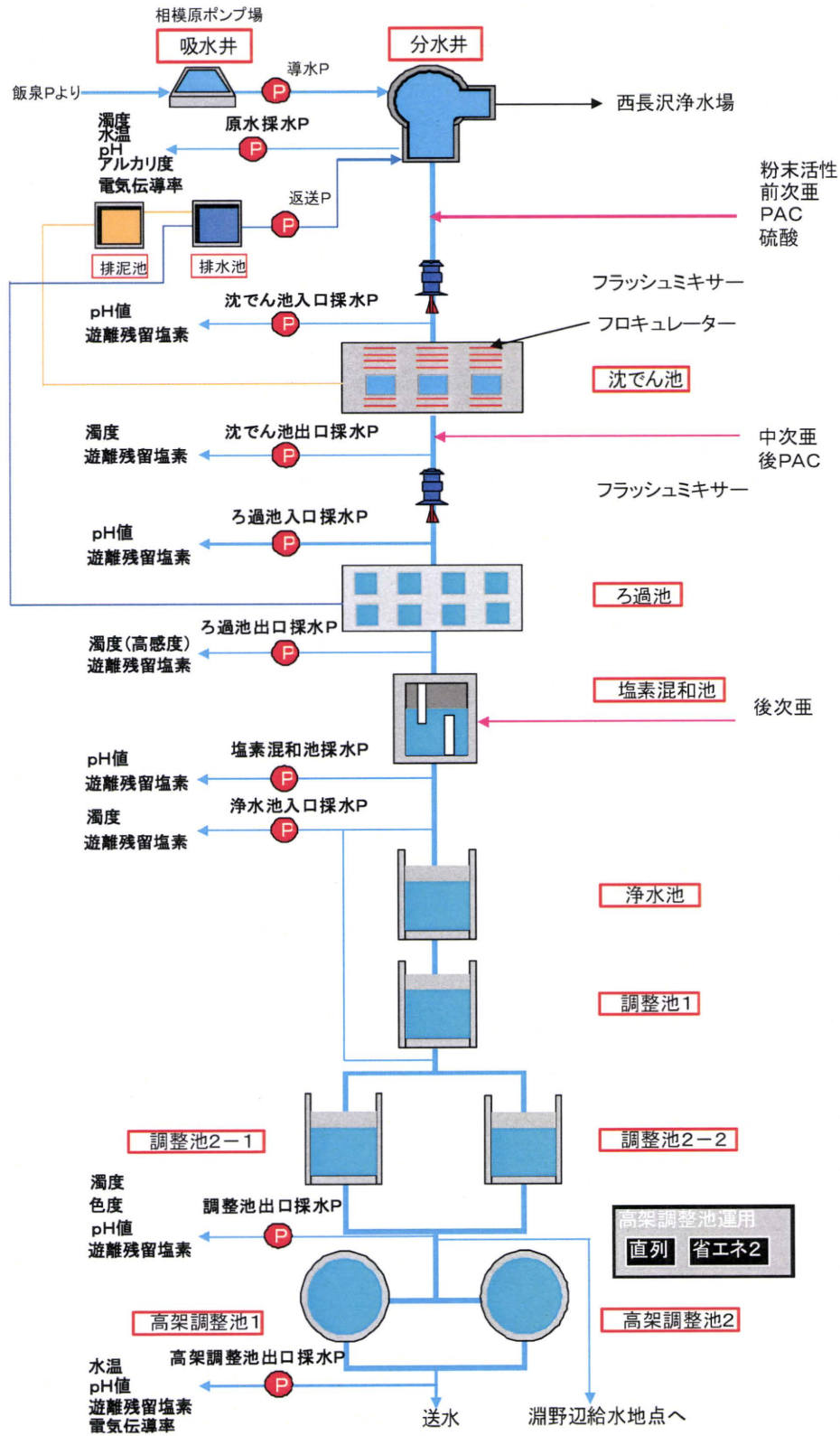
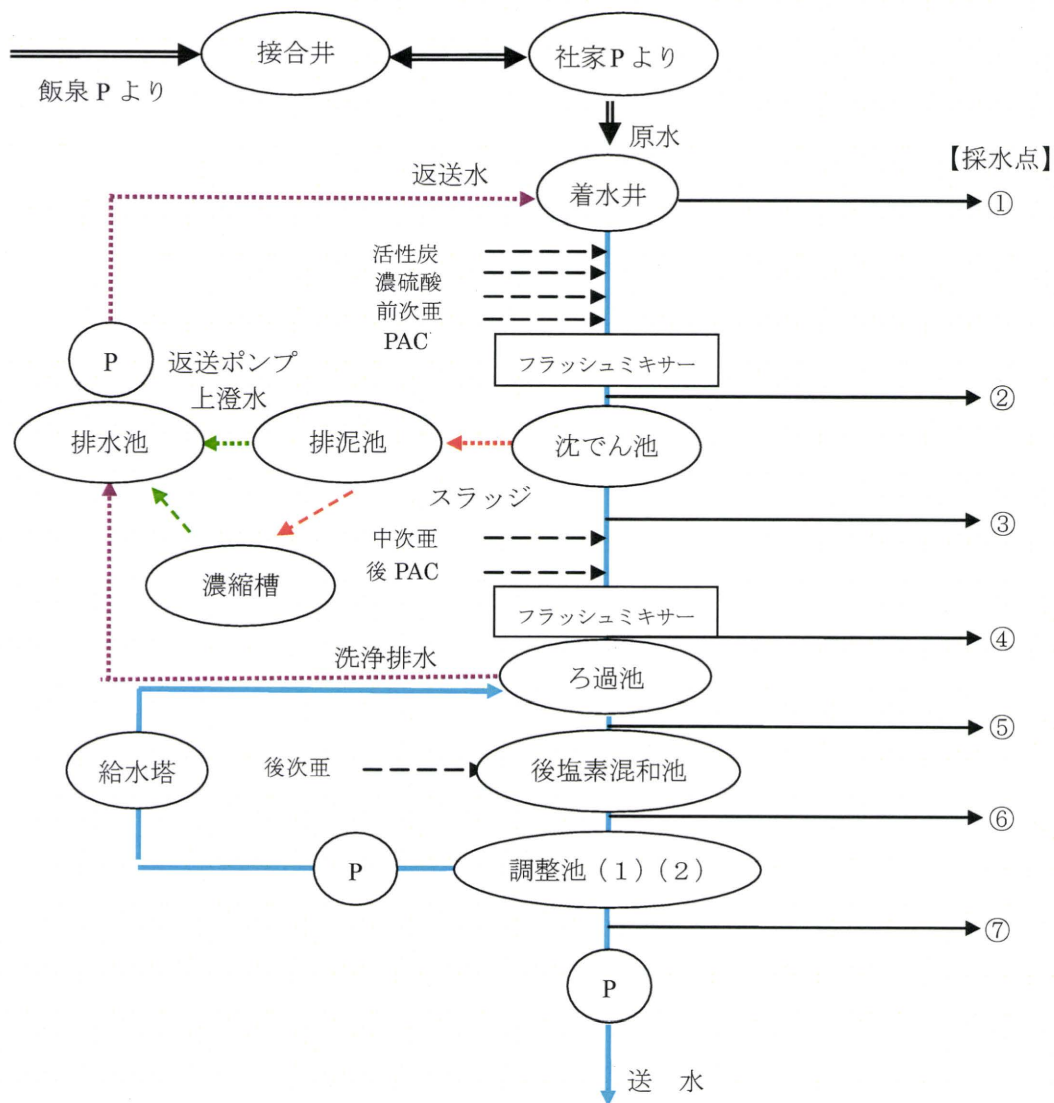


図-3 相模原浄水場処理フロー



採水点	水質監視項目								
	水温	残留塩素	濁度	色度	pH	アルカリ度	電気伝導率	粒子数	臭気
①着水井	○		○		○	○	○		○
②沈でん池入口(1BLK、2BLK)		○			○				○
③沈でん池出口(1BLK、2BLK)		○	○		○				
④ろ過池入口(1BLK、2BLK)		○							
⑤ろ過池出口(1BLK、2BLK)		○	○(高感度)		○			○	○
⑥後塩素混和池		○			○				
⑦調整池出口		○	○(高感度)	○	○				

図-4 綾瀬浄水場処理フロー

2-3) 高濁度原水処理対応について

2-3-1) 原水高濁度対応フロー

相模原浄水場、綾瀬浄水場で使用している水安全計画より抜粋した濁度の管理基準及び主な対応を図-5 に示す。なお、水質到達時間は、酒匂川表流水の取水地点から相模原浄水場まで約8時間、相模川表流水の取水地点から綾瀬浄水場まで約3時間である。取水地点での濁度が1500度以上で取水制限・取水停止の検討と決められている。

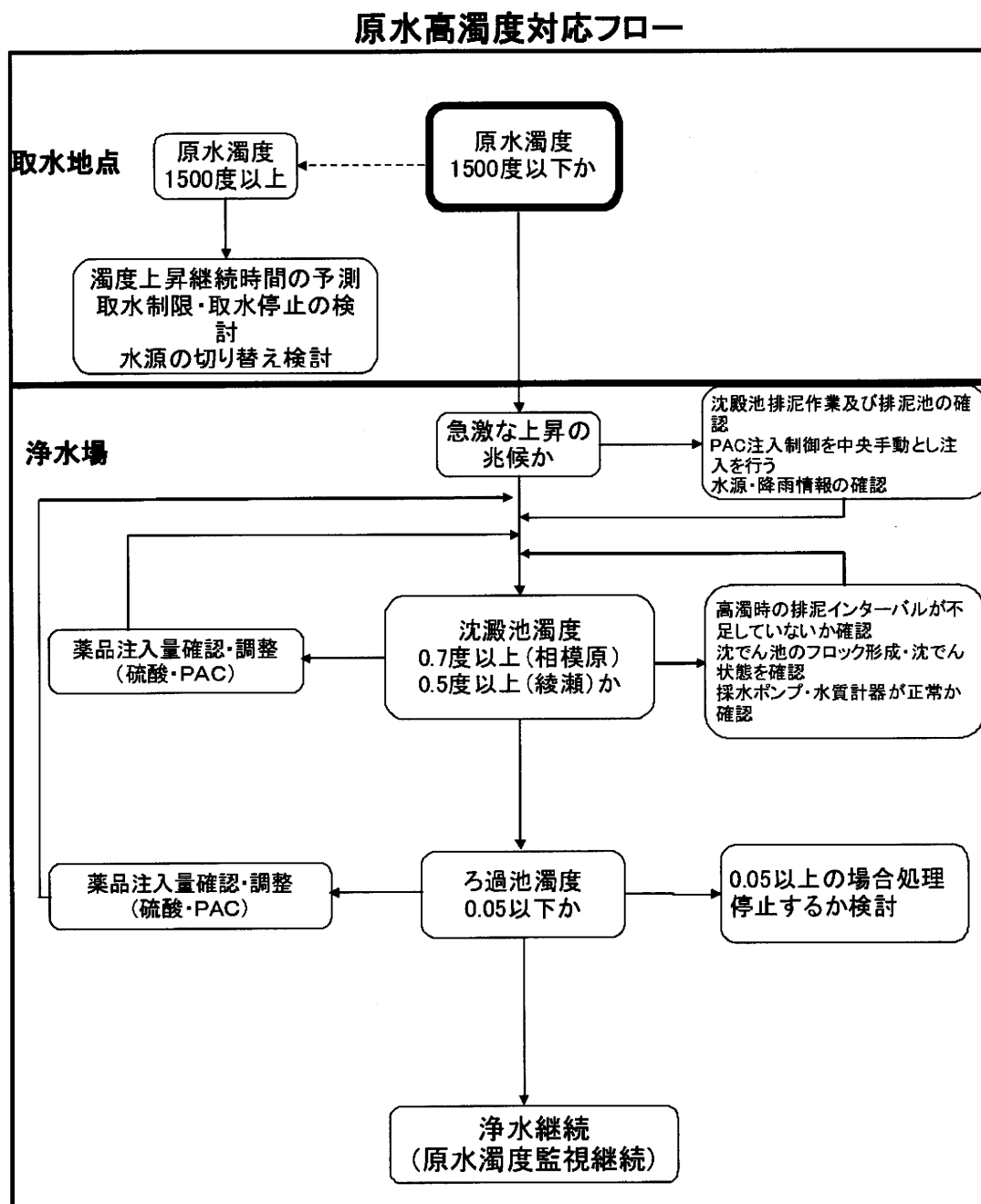


図-5 原水高濁度対応フロー

2-3-2) PAC 注入制御について

相模原浄水場では PAC の注入は自動制御で行っている。自動制御に用いているパラメーターを表-2 に示す。原水濁度の急上昇時には、浄水場前段にある相模原ポンプ場(流達時間が約 1 時間)の濁度計の数値に切り替わるようになっている。そのため、急激な濁度上昇時でも事前に PAC 注入率が増加されるので、自動制御のままであることが多い。

表-2 相模原浄水場の PAC 注入式のパラメータ

パラメーター	備考
原水濁度	濁度急上昇時(浄水場の濁度が100度以上かつ浄水場とポンプ場の濁度の差が30度を超えたとき)は相模原ポンプ場の濁度計に切り替わる
原水水温	実質使用していない
原水 pH 値	硫酸による pH 調整を行っているため、pH 補正は行っていない。
時間	実質使用していない
活性炭注入率	
沈殿池出口濁度	
ろ過池出口濁度	
処理水量	
返送ポンプ	

3) 石狩市厚田浄水場

石狩市水道局の厚田浄水場(2010年5月7日;最高濁度 121.8 度、5月20日~21日;最高濁度 141.8 度、7月29日~30日;最高濁度 106.4 度)の高濁時の3事例について、浄水処理・水処理薬品のデータの整理及び解析を行った。すべて、降雨が原因により取水している河川が濁ったのが高濁度の原因である。なお、今回のデータ解析では総ろ過流量の停止が処理停止と確認できなかったため、総ろ過流量が停止したデータも含まれている。また、水質到達時間を考慮し時間を合わせたデータについて分析、解析に使用した。

3-1) 施設概要

厚田浄水場の概要を表-3 に示す。浄水処理は凝集沈でん・急速ろ過であり2系統ある。凝集剤は PAC を使用している。また、原水が低pH 時のpH 調整に苛性ソーダを使用している。

3-2) 水処理設備フロー

図-6 に厚田浄水場のフローを示す。

3-3) 高濁度原水処理対応について

3-3-1) 原水高濁度対応フロー

厚田浄水場における原水濁度異常対応マニュアルを図-7 に示す。原水濁度が 250 度以上でろ過停止、浄水濁度が 0.1 度以上で配水停止と決められている。

表-3 厚田浄水場の概要

	厚田浄水場
水源	幌内川水系幌内川；上流にダムなし
原水水質	異常などは確認されておらず、安定した水質を保っている。2010年4月～9月の原水濁度の平均は3.3度
高濁度原水流入要因	降雨、融雪による
計画1日最大給水量 (m ³ /日)	1,800
濁度の質	粘土系
凝集剤注入方式・能力	注入方式；電磁駆動式がヤフムポンプ能力；0.12～16.2L/h
凝集剤貯蔵量	2.0m ³
薬品沈でん池	上向流式・横向流式
急速ろ過	アンスラサイト・砂複層ろ過

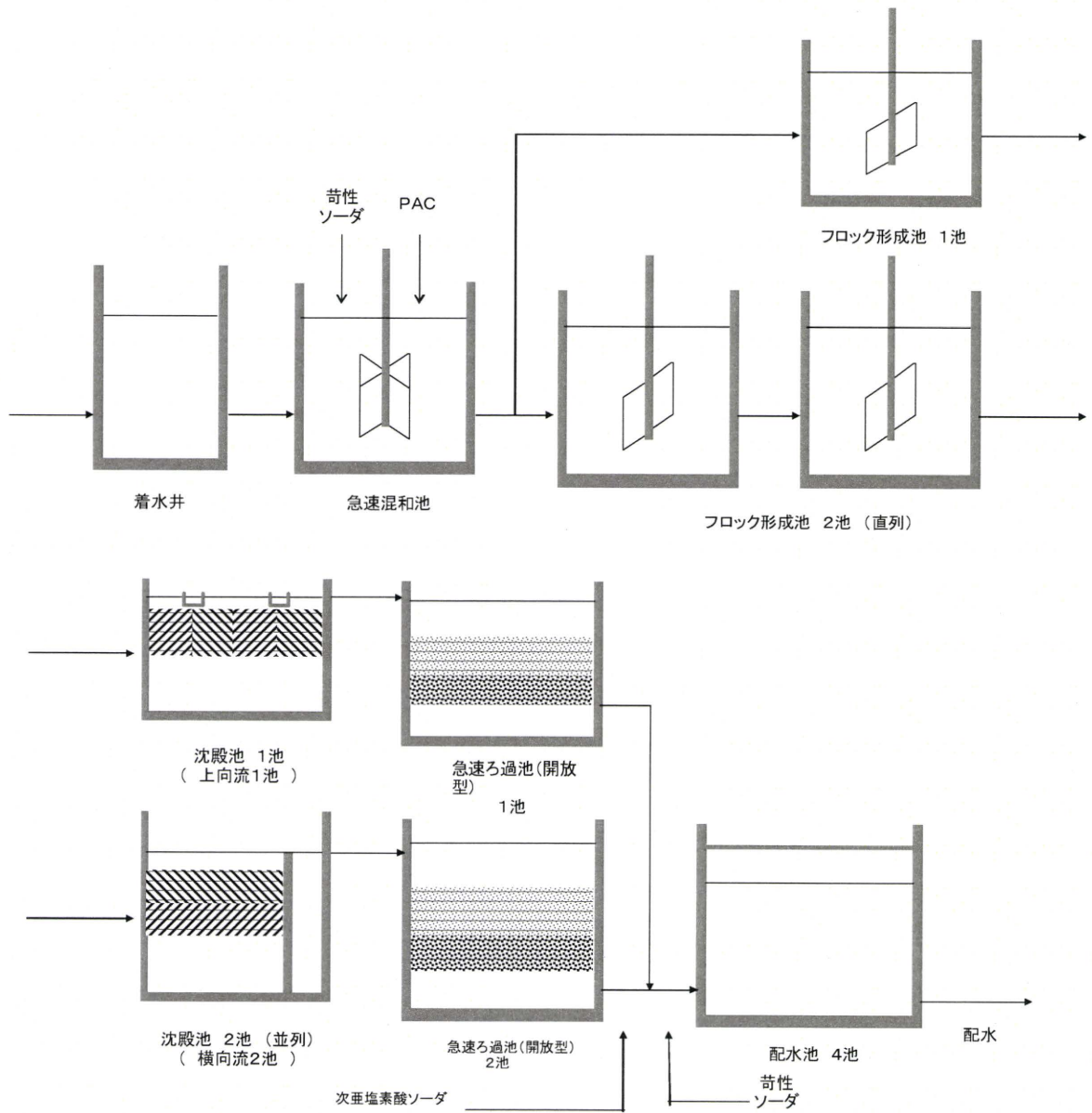


図-6 厚田浄水場水処理フロー

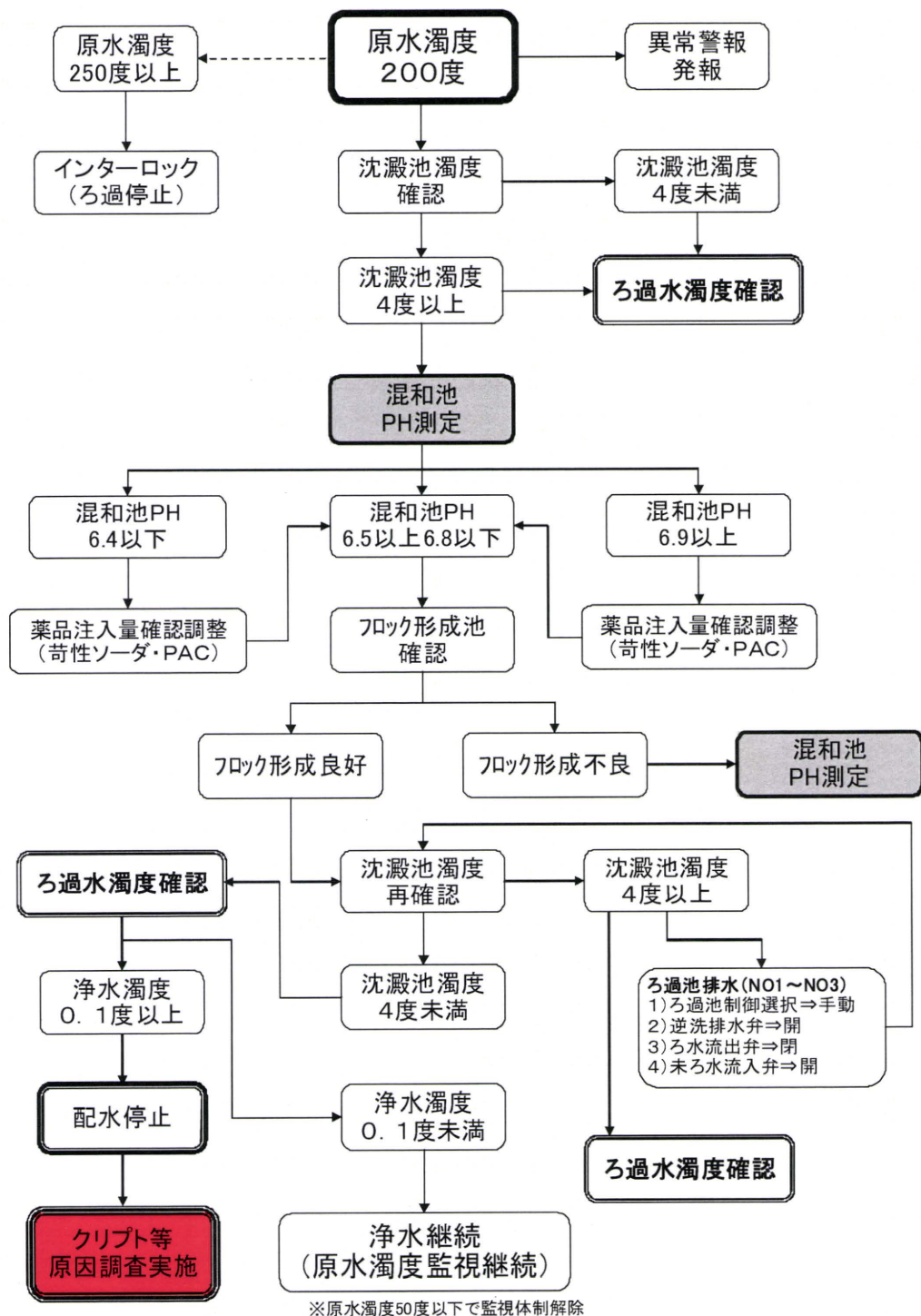


図-7 原水高濁度異常対応マニュアル

3-3-2) PAC 注入制御について

厚田浄水場では PAC の注入は、主に原水濁度の数値により注入率が決められている。薬品注入は原水濁度に比例し自動注入されるが、著しい変化が伴う場合や沈でん水濁度の上昇などによ

り随時ジャーテストを実施し、注入量の確認と変更を行なっている。

また、季節により注入パターンを変更しており、春夏秋季は降雨による急激な水質変化が想定されるので注入曲線がやや急カーブとなっている。冬季は水質が安定する為、緩やかな注入曲線となっている。厚田浄水場における PAC 注入パターンを図-9 に示す。

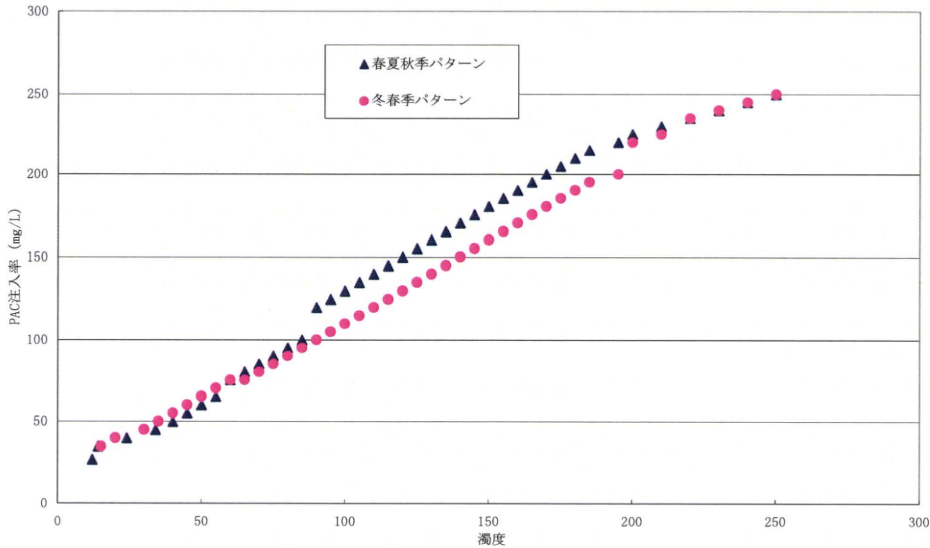


図-9 厚田浄水場 PAC 注入パターン

4) 重回帰分析による解析

予め各浄水場のデータで検討した PAC 注入率、沈澱処理水濁度を求める回帰方程式から共通因子を選択し、標準回帰係数を比較した。次に各浄水場における標準化後のデータから、原水濁度、処理量、混和池 pH、PAC 注入率を説明変量として重回帰分析を実施した。尚、データ分類は①濁度上昇～ピーク時、②濁度ピーク～下降時の 2 条件とした。結果を図-10～13 に示す。

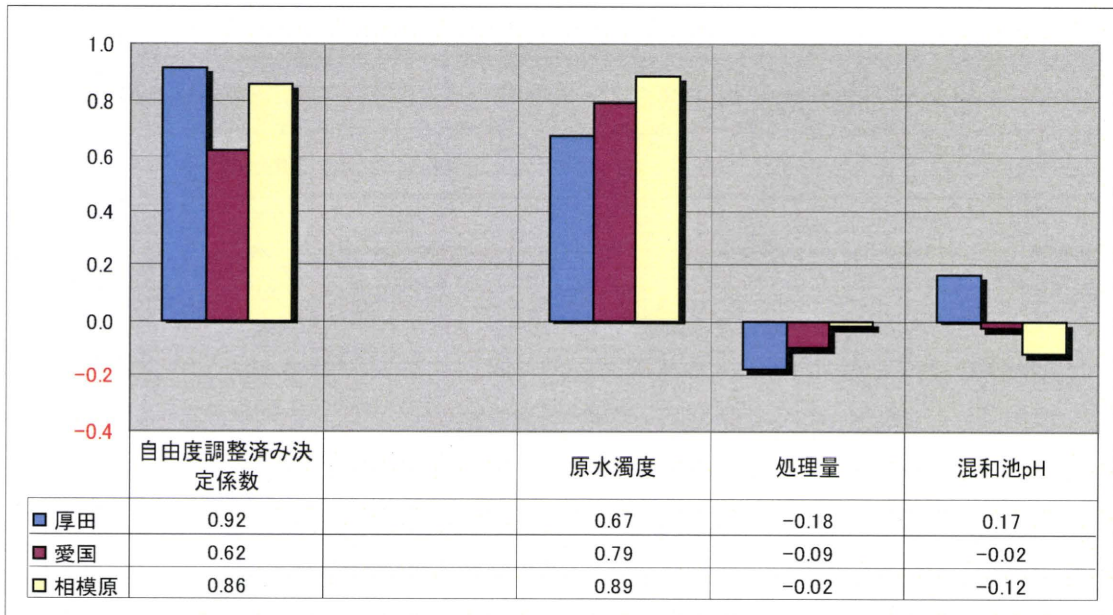


図-10 PAC 注入率に関する決定係数、標準回帰係数(濁度上昇～ピーク時)

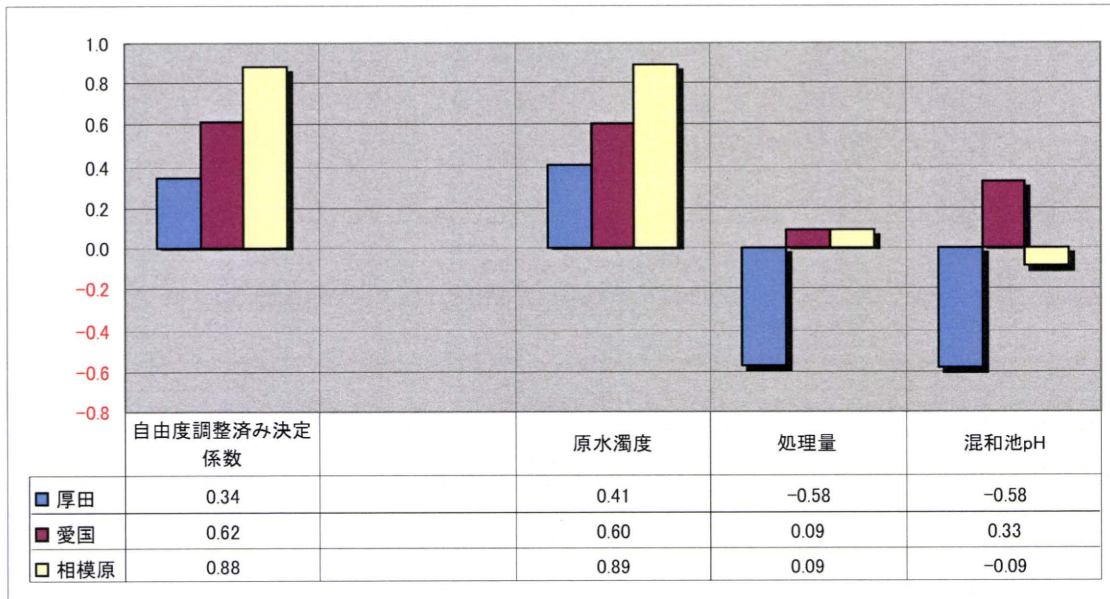


図-11 PAC 注入率に関する決定係数、標準回帰係数(濁度ピーク～下降時)

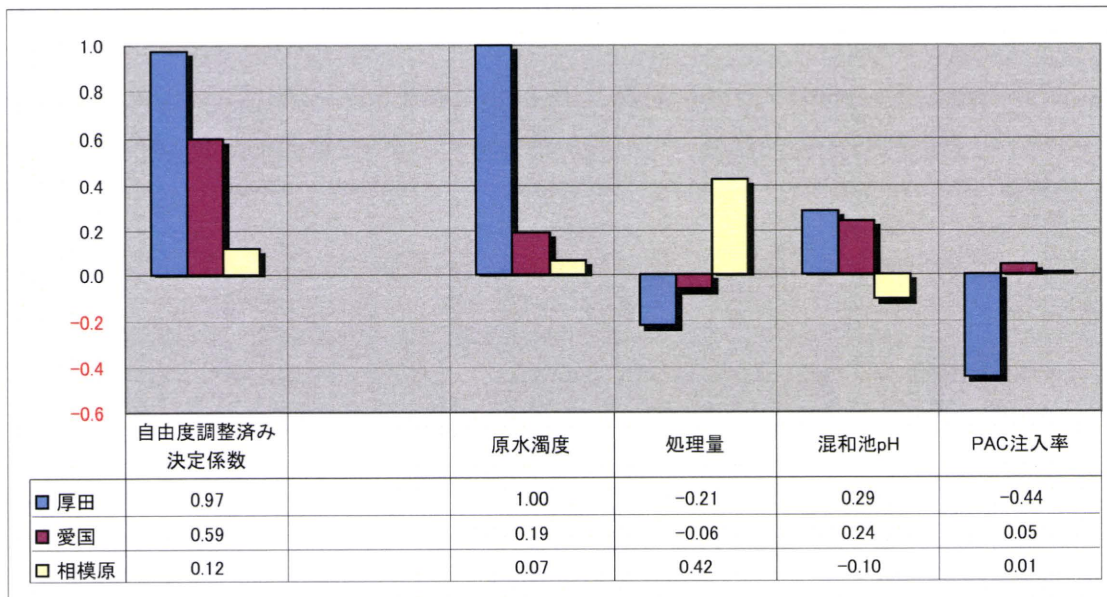


図-12 沈澱処理水濁度に関する決定係数、標準回帰係数(濁度上昇～ピーク時)

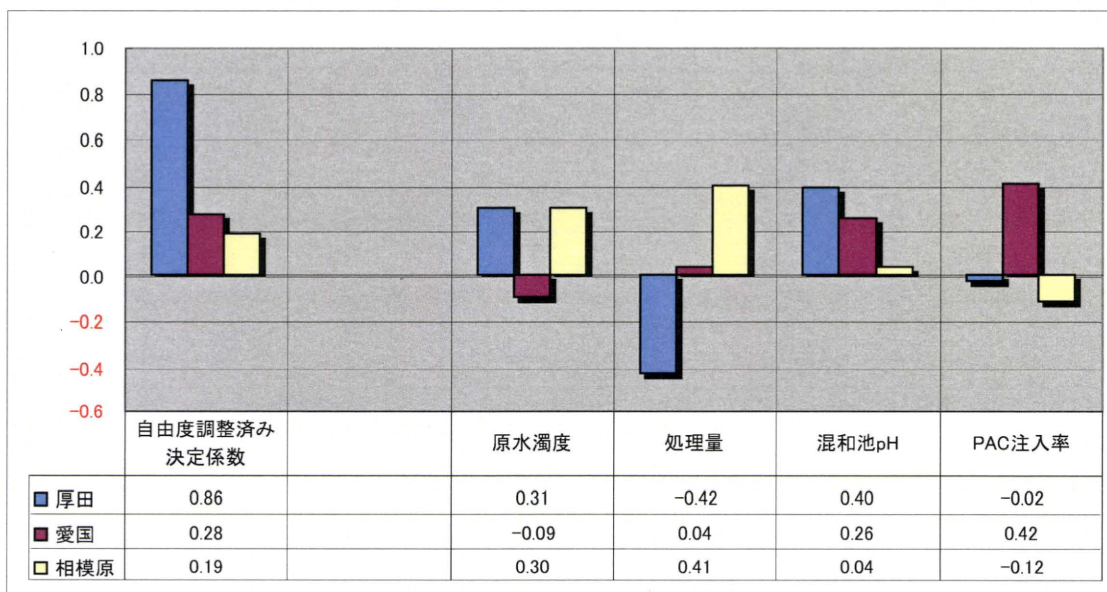


図-13 沈澱処理水濁度に関する決定係数、標準回帰係数(濁度ピーク～下降時)

この結果より、PAC 注入率及び沈澱処理水濁度を目的変量(=Y)とした際に必要な説明変量(=X)を決定することができた。目的変量と説明変量の組み合わせを表-4 に示す。

表-4 目的変量と説明変量

目的変量(Y)	説明変量(X)
イ) PAC 注入率(Y1)	X1)原水濁度、X2)処理量、X3)混和槽 pH
ロ) 平均沈澱水濁度(Y2)	X1)～X3)は上記の通り、X4)PAC 注入率

次に 3 浄水場における標準化後のデータを合わせ、上記条件にて重回帰分析を行った。結果を図-14,15 に示す。

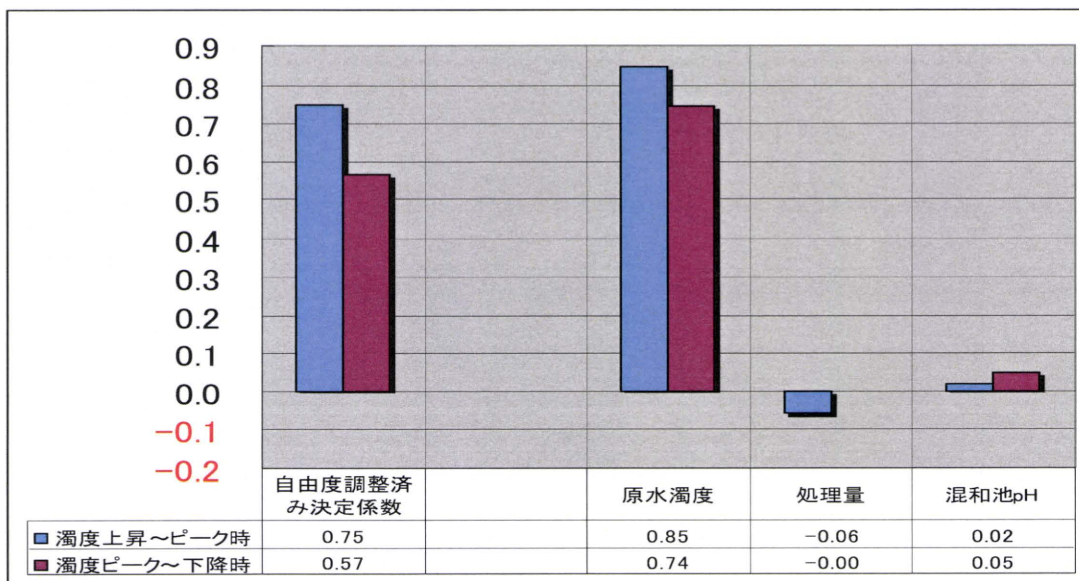


図-14 PAC 注入率に関する決定係数、標準回帰係数

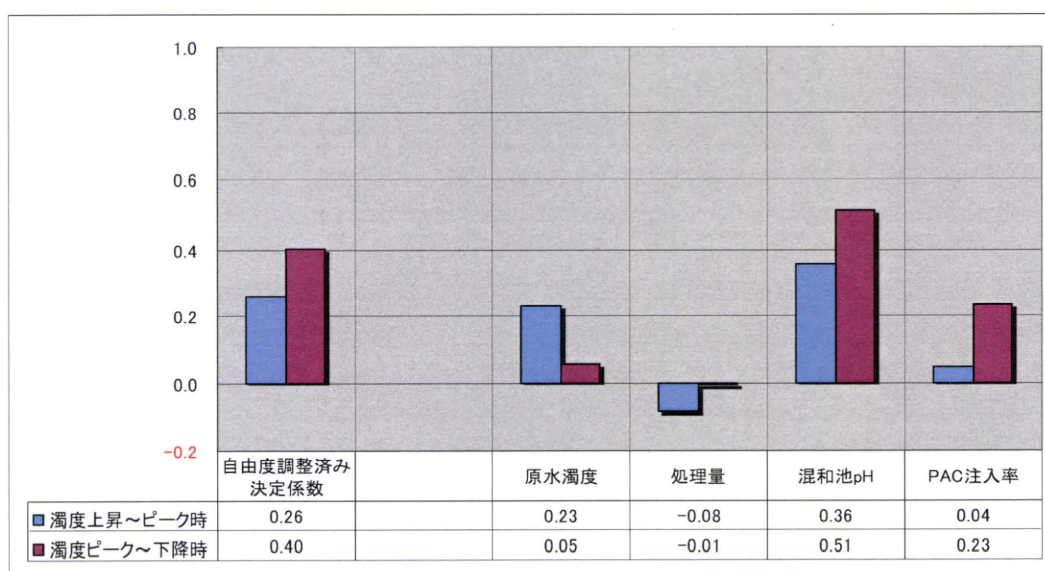


図-15 沈殿処理水濁度に関する決定係数、標準回帰係数

図より、PAC 注入率に関してはほぼ原水濁度の傾向だけで注入率を決定する事が可能であると考えられる。沈殿処理水濁度に関しては、PAC 注入率の増加で処理水濁度も増加するという事になってしまい、また決定係数も低い事より処理対応の指針として使用するには疑問が残る。

以上の結果より無機質由来の高濁度原水処理時において、PAC 注入率と沈殿処理水濁度の予測に必要と考えられる項目を表-5 に示す。PAC 注入率に対しては原水濁度のみとなっているが、これは浄水処理において通常の原水では様々な因子が相互に関係し合い複雑な相関関係を成り立たせているのに対し、高濁度(特に上昇～ピーク時)においては、濁度成分が突出している為に

他の因子の影響を受けにくくなっており、結果として PAC 注入率に及ぼす原水濁度の影響力が過大になっている為ではないかと推測される。

表-5 各目的変数を予測するための必要説明変数

目的変数	説明変数
PAC 注入率	原水濁度
沈殿処理水濁度	原水濁度、処理量、混和池pH、PAC 注入率

D. 結論

以下に本研究において明らかになったこと及び今後の課題について記す。

1) 本研究のまとめ

(1) 高濁度原水処理時における PAC 注入率は原水濁度の影響を強く受ける為、原水濁度の挙動から PAC 注入率を決定すればほぼ適切な浄水処理行うことができる。

(2) 高濁度原水処理時における沈殿処理水濁度は原水濁度、処理量、混和池 pH、PAC 注入率との相関を調べれば、ある程度の予測が可能である。

予測の精度を高める為には水源水質及び浄水設備の特性を調査し、それに見合った因子を選択する必要がある。

(3) 高濁度原水処理時におけるろ過水濁度において、予測が可能といえる程度の結果は出なかった。これは、沈殿処理水濁度の変動がろ過池での処理能力に対して小さく、ろ過水濁度が変動と呼べるだけの挙動を示さなかったことによるものと考えられる。

2) 今後の課題

(1) 高濁度原水処理対応の指針として共通因子を設定し、また取水濁度と PAC 注入率においては良い相関が得られたが、浄水場の数及び事例のデータ数を増加させた場合にも果たして成り立つのかということについて検討する必要があると考えられる。

(2) 浄水処理能力と原水濁度の上限について回帰方程式を用いて試算したが、数個ある変数のうち1つの変数のみに着目して目的の値を算出した為、多重共線性の検討を行っていない。水処理を説明する為に作成した多項式において、それを構成する複数の変数は互いに何らかの相関関係を持つと考えられる為、各変数における相関を考慮した上で試算をし直す必要がある。

E. 健康危険情報

該当なし

F. 研究発表

該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

該当なし

地理情報システム（GIS）を活用した気候変動に対応した
水道原水管理・評価手法の開発
—GISを利用したリスクマップ作成における
空間情報の課題—

研究分担者 増田 貴則

地理情報システム (GIS) を活用した気候変動に対応した
水道原水管理・評価手法の開発
—GIS を利用したリスクマップ作成における空間情報の課題—

研究分担者： 増田 貴則 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授

A. 研究目的

気候変動による無降雨期間の長期化が予想されることから、低水時や渇水時の河川流量の低減が懸念される。河川流量の減少により河川水中に含まれる生活排水や排水処理水の割合が増加し、河川中の病原微生物濃度も上昇することが予想されることから、河川水を水源とした水道水飲用による病原微生物感染リスクも上昇する可能性がある。影響が大きい場合には、適切な発生予防策を講じることが求められるであろう。気候変動の影響や水道システム、水道受給者の状況は地域によって異なってくることから、俯瞰的にリスクや脆弱性を評価する視点が重要と思われる。

水安全計画の策定では、水源から給水栓までの水道システム全体を通して水道事業者がリスク要因を重点的かつ総合的に管理する計画を立てることが求められている¹⁾。そのためには、水源流域のリスク要因についても抽出・把握する必要があるが、その上で水道飲料水のリスクを評価する必要があると思われるが、流域のリスク要因情報が一元的に管理されていない現状では、各水道事業者や飲料水供給施設管理者自らがリスクを主体的に評価することは技術面・費用面で困難と思われる。

そこで本研究グループでは、水道水源流域におけるリスク要因に関する情報を一元的に効率よく管理する手段として地理情報システム (GIS) を用いることとし、一般に利用可能な統計やデータベース、電話帳、地図データ等のみを情報源として、表流水を水源とする水道を対象に病原微生物による飲料水汚染要因を水源流域別に把握し、表流水の汚染評価や飲料水による感染リスクを評価する手法を開発することとした。これは、全国どこの水道事業者であっても同様の方法を用いることで迅速に汚染評価やリスク計算ができることを目指したものである。

同様に GIS を水道原水の汚染評価や管理、感染リスク評価に役立てようとする研究事例は報告されているが^{2~5)}、一般に利用可能な情報のみで評価を行ったものではない。また、情報の質や形態が評価結果にどのような影響を与えるかは検討されていない。そこで本研究では、一般に利用可能な情報のみで評価を行う手法を開発することを通じて、それらの手続きにおけるデータの問題点を明らかにするとともに、情報の空間精度や集計精度が表流水の水量・水質などの評価結果に与える影響を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

B-1 GISを用いたリスク評価の基本的考え方

図1にGISを用いたリスク評価の基本方針決定に関する基本的考え方を示した。先に述べたように一般に利用可能な情報を用いることで方法の汎用性を確保するとともに、手続き全体を極力自動化することで作業の手間を減らすことを大前提としている。その前提のもとで、GISの利点やGISが扱うことのできるデータモデル、および、一般のリスク評価のプロセスを踏まえながら、基本的な方針として、本研究が対象とするリスク評価に必要な一連の作業手続きの流れ、GISを活用する部分、採用するデータモデル、採用するハザードおよびリスク評価モデルを決定することとした。

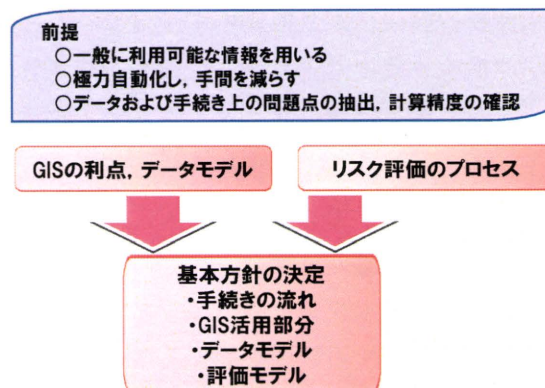


図1 基本方針決定に関する考え方

(1) GIS活用部分とリスク評価全体の手続きの流れについて

GISは、地図上にデータを表示することでユーザーが視覚的に状況を理解したり判断したりすることを助けることにすぐれたツールであるので、ここでは任意の地点の河川表流水を水道原水として利用した場合の水道水飲用者の病原微生物感染リスクを評価しリスクマップとして表示することを目標とする。任意の水道供給エリアの水道受給者の感染リスクを評価して表示するという方針も採用し得るが、簡単のため浄水方法や水道受益者の状態は考慮しないものとし、一般人が特定の浄水方法により処理、供給された水道水を飲用した場合の感染リスクを原水の位置別に評価することとした。言い換えると、任意区間の河川表流水に対して、病原微生物による汚染リスクを評価し、河道区間別にそのリスクを地図表示するというに等しい。

一般にリスク評価のプロセスは図2に示すようにリスク原因・ハザードの同定、リスク原因の動態評価、暴露解析、用量反応解析を経て行なわれる。本研究では、リスク原因を病原微生物とし、ハザードをその感染あるいは表流水の汚染と考えていることとなる。暴露については表流水を水源とした水道水の飲用のみとし、用量反応解析と合わせて過去の

知見を用いることとして本研究で解析を行うことはない。したがって、本研究はリスク原因の動態評価、すなわち病原微生物による河川表流水の汚染を中心にリスク評価の手続きを検討し、その問題点を抽出しようとするものとなる。

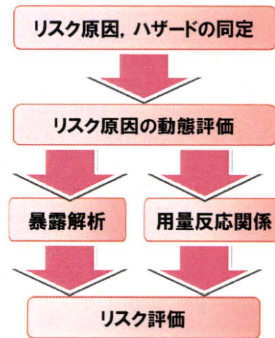


図2 リスク評価プロセス

病原微生物による河川表流水の汚染は、流域に病原微生物の排出・流出原因が発生し河川に流出するという事象と河川を流下する病原微生物が流下にともない希釈、死滅するという事象の組合せによって決定される事象と考えることができる。定常であれ非定常であれ、両方の事象を決定的あるいは経験的に捉えることができれば、河川表流水の病原微生物による汚染濃度も決定的に計算することができる。河川の栄養塩や有機物濃度の予測は、降雨などの気象条件や、排出・流出原因である社会・自然条件などの流域フレーム値を境界条件として決定的に与えることで、生物物理化学プロセスとして決定的にあるいは経験的に計算できるよい例である。

一方、病原微生物については、流域のフレーム値を決定的に与えたとしても、排出・流出量を決定的に予測することは困難だと考えられる。これは、病原微生物への感染が稀かつ突発的に発生する事象だからである。たとえ過去の発生事例を整理しても、発生規模や発生場所を予見できる性質のものではないと思われることから、経験的にすら病原微生物の排出・流出原因の発生事象を記述したり設定することはできないと考えられる。つまり、偶然の要素が大きいことを意味しており、河川水中に常に病原微生物が検出されるわけではないという実態はその証左でもある。また、発生事象とは別に、降雨により病原微生物の流出がどの程度起こるのかについても、これまでの研究が不十分であるため雨天時の流出モデルを決定的あるいは経験的に記述することはさらに難しいことであると言えよう。したがって、病原微生物による河川表流水の汚染を評価するにあたっては、確定的な事象として扱うのではなく確率的な事象として記述し、汚染のリスクとして評価することが適していると考えられる。

ここでは簡単のために、流域に病原微生物の排出・流出原因が発生し河川に流出するという事象と河川を流下する病原微生物が流下にともない希釈、死滅するという事象はそれ

ぞれ独立の事象として生起するものとして扱うことにした。本来は、河川へ流出する事象と流下にもない希釈・死滅する事象は、両事象ともに降雨など気象条件に左右されると考えられることから独立の事象と考えることは無理があるが、先に述べたように流出プロセスがどの程度降雨に影響されるのか不明瞭なこと、および、降雨時を除けば病原微生物の排出・流出事象は、流下・希釈事象に影響をあたえる気象条件とは関係性が少ないと考えられることから、これらの事象を独立と設定することにした。

この結果、河川の流下・希釈事象を決定するための流域から河川への流出流量や利水量の計算と、流域からの病原微生物の排出・流出量の計算は、それぞれ独立の確率事象として計算したうえで、その組合せとして河川を流下する病原微生物の汚染濃度の確率分布を求めればよいこととなる。このことは、同じ時系列上で両者を計算し汚染濃度の変化を計算していく必要はなく、河川への流出流量・利水量の統計的性質と流域からの病原微生物の排出・流出負荷量の統計的性質がわかればよいということを意味する。もちろん、河川の汚染濃度はその河道区間を流下する負荷量と流下する水量の結果であるため、合流による混合や流域からの流入などを考慮しながら上流の河道区間から下流に向かって計算していくこととなるので、上流と独立して河道区間毎の確率事象の組合せで計算できることを意味していないことは言うまでもない。下流は常に上流に依存しているのである。また、確率事象が単純な場合には、数学的な解析解として事象を組み合わせた場合の確率分布を求めることができるが、この上流依存関係があるために解析解を求めることは困難と考えられる。そこで本研究では、起こり得る排出・流出負荷量事象のうちから一つを選び、またこれとは別に起こりえる流出流量事象のうちから一つを選び、それらを用いて上流から下流に向けて汚染濃度を計算し、これを繰り返しながら河川の汚染濃度の確率分布を求めるモンテカルロシミュレーションを行うこととした。

また、時系列シミュレーションではないことから、時間軸に沿った感染の拡大や回復、感染者の移動といった事象や河川水あるいは水道水を経由した感染者の増大といった事象は評価の対象外である。

ところで、GISは視覚的に地図上にデータを表現するのを得意とするだけでなく、空間解析と呼ばれる地理的な情報を用いた演算処理、例えば距離や面積を求めたり、空間的な位置関係やトポロジーを求めることにも長けている。今回のように上流から下流に向けて位置関係を考慮しながら流量や水質を繰り返し計算していくことにも一見して効果を発揮するように思われがちだが、流域の汚染因子の位置や流域や流路の形状、流路の上流から下流に向けての接続関係などが計算のたびに变化するわけではないので、最初に位置関係を考慮したデータセットとそれに合わせた計算方法さえ構築してしまえば、計算のたびにGISを用いる利点はない。よってここでは、位置関係を考慮したデータセットを最初に構築する際と視覚的表現にのみGISを用いることとし、流量、濃度、感染リスクについては計算が高速な汎用プログラム言語を用いて計算することを基本方針とした。