

水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

研究分担者	浅見	真理
研究協力者	朝野	正平
研究協力者	斎藤	健太
研究協力者	小池	友佳子
研究協力者	宮林	勇一
研究代表者	小坂	浩司

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「水道における連続監視の最適化および浄水プロセスでの処理性能評価に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

研究分担者	浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	朝野 正平	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	斎藤 健太	横浜市水道局
研究協力者	小池 友佳子	八戸圏域水道企業団
研究協力者	宮林 勇一	横須賀市上下水道局
研究代表者	小坂 浩司	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域

研究要旨

水道原水の監視を行い、浄水水質の向上を図るため、1年間の1時間毎の連続監視データの変動を解析し、原水や処理水の水質の変動の傾向と要因を把握した。全国20箇所の事業体の連続監視データのうち、原水の濁度・pH・電気伝導度・水温、沈殿水とろ過水の濁度、浄水の残留塩素について、連続自動水質計器のデータによる解析を行った。

原水濁度については雨等の突発的な影響による濁度の「ピーク数」と水源域の雪解け等の季節変動（年間変動）を表す「第3四分位－中央値」、pHは水源や取水口近くの日内変動である光合成（炭酸同化作用）の影響を表す「1日変動の中央値」と水源域の季節変動（年間変動）を表す「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度ではダム放流等の人為的な影響（日内変動のばらつき）を表す「1日変動の四分位範囲」と水源域の汚染原因の季節変動（年間変動）を表す「相対四分位偏差」が指標となることが示唆された。

6つの項目で主成分分析を行ったところ、累計寄与率は3項目で約76%であった。今回解析した濁度・pH・電気伝導度は、多くの事業体で比較的入手可能な連続データであり、これらの変動の解析が、原水の水質全体の指標となる可能性が考えられた。

また、ろ過水濁度0.03度以上となったデータは、原水濁度10度未満の場合に多く、原水低濁度時においても濁度管理が課題であることが分かった。

浄水の残留塩素については、事業体毎に設定値の管理の違いがあるが、フィードバック制御における短い周期では着実に制御されており、残留塩素の中央値が大きい事業体ほどフィードバック制御のばらつきも大きい傾向が確認された。

水温が低い時だけでなく高温時にも、沈殿水濁度とろ過水濁度の処理状況が悪化している場合があることが確認された。

A. 研究目的

浄水場では、連続監視データを用いて監視や自動制御等を行っており、連続自動水質計器の果たす役割は大きい。しかし、連続監視データを用いた研究は、これまで各事業体等において個々に行われており、それらは単一の項目について1浄水場の1地点、あるいは数地点を対象とした研究が多く、異なる水源の複数の浄水場のデータの比較は少ない。

本研究では、水源の状況が異なる全国の20事業体の浄水場を対象に、原水の複数項目の連続監

視データを解析し、各項目の水質の安定性や変動特性の把握、及び複数項目の結果を踏まえた原水の水質全体の安定性やそのパターンの評価を試みた。また、同様に、全国の浄水場の複数地点における同一項目あるいは異なる項目の変動の比較、解析を行い、対象項目について浄水場の処理工程における変動に、全国的な共通の効果や課題を把握するために、浄水処理性能の変動特性も検討した。

B. 解析方法

1. 対象データ

表流水を主な原水とする全国浄水場を対象に、原水、凝集沈殿水（以下、沈殿水）、急速ろ過水（以下、ろ過水）、浄水の過去の自動水質計器の1時間毎のデータを入力し、Excel（表計算・解析ソフト、Microsoft社製）やOrigin（作図・解析ソフト、OriginLab社製）を用いたグラフ作図、主成分分析等の解析を行った。原水については一部取水のデータを使用した。対象期間は2014年4月1日1:00から2015年3月31日24:00までとした。多くの事業体では高度処理（異常時のみ粉末活性炭使用も含む）を導入していたが、事業体MとRでは高度処理は導入していなかった。

表1に、調査対象事業体数内訳を示す。本研究では、入手したデータのうち、設置事業体数が多く解析に適している項目として、原水については濁度、pH、電気伝導度、水温を、沈殿水とろ過水については濁度を、浄水については残留塩素について変動に関する解析を行った。

なお、各データの前後のデータと著しく異なる場合には異常値として解析から除外し、濁度でマイナスの値を記録したものについては濁度0度として処理した。

表1 調査対象事業体数内訳

種類	項目	事業体																				合計数
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
原水	濁度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	pH	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	電気伝導度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18
	アルカリ度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	7
	水温	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12
沈殿水	UV	○																				2
	アンモニア								○													3
	塩素要求量							○														2
	濁度									○												7
	残留塩素																				○	2
ろ過水	pH									○												4
	色度	○																				1
	濁度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19
	残留塩素	○																				16
	pH	○																				8
浄水	色度			○																		2
	粒子数									○												2
	濁度																					11
	残留塩素	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	pH	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12
	アルカリ度																					1
	トリハロメタン																					2
	水温										○											5
	色度																				○	6
	電気伝導度																				○	2
その他																				○	5	

2. 原水水質の安定性の評価に関する検討

原水水質の安定性（以下、原水安定性）を評価することで、処理等において留意すべき変動が把握できる。また、同じような変動を示している事業体とも対応策等の情報共有が可能となる。

原水安定性を評価するにあたり、評価する水質項目を選定した。表1より原水では自動水質計器

にて計測している項目は8項目あったが、20事業体において原水での設置事業体数が多く、解析に適するため、濁度、pH、電気伝導度の3項目を対象に解析を行った。このうち、電気伝導度は処理対応が必要な項目ではないが、代替指標として用いられる場合もあり、評価項目とした。

3項目の変動する要因としては、大きさ、突発性、日内変動、日内変動のばらつき、月間変動、月間変動のばらつき、年間変動、年内変動のばらつき、といった指標が考えられたが、より少ない指標で評価できるよう月間変動、月間変動のばらつき、年間変動のばらつきは除外した。残りの5つの中から各水質項目の指標として適しているものを検討・選定した。各項目に対する指標については後述するが、各項目は以下の指標を用いることとした。

ア 濁度

- 「ピーク数」(突発性)
- 「第3四分位-中央値」(年間変動)

イ pH

- 「1日変動の中央値」(日内変動)
- 「1日変動の四分位範囲」(日内変動のばらつき)
- 「1日最小値の四分位範囲」(年間変動)

ウ 電気伝導度

- 「中央値」(大きさ)
- 「1日変動の四分位範囲」(日内変動のばらつき)
- 「相対四分位偏差=四分位偏差/(第1四分位と第3四分位の平均値)」(年間変動)

3. 原水及び浄水の濁度挙動に関する検討

本検討では全国複数の浄水場において原水、沈殿水、ろ過水における同一項目の変動の解析を行った。同一項目については、原水、沈殿水、ろ過水において共通して設置事業体数が比較的多い濁度を対象に解析を行った。

本検討では、原水濁度10度未満を低濁度、10度以上を高濁度とし、原水低濁度及び高濁度時における沈殿水とろ過水濁度の挙動を検討した。

3.1 原水及び沈殿水濁度の挙動

本研究で対象とした20事業体のうち、原水濁度と沈殿水濁度の連続監視データがともにある7事

業体の、原水低濁度及び高濁度時において、沈殿水濁度 1.0 度以上のときのデータ数に、5 %有意確率における有意差があるかどうか Pearson の χ^2 検定を用いて確認するとともにオッズ比（以下、OR）及び 95 %信頼区間（以下、95 %CI）を算出した。

3.2 原水及びろ過水濁度の挙動

ろ過水においても沈殿水と同様に、本研究で対象とした 20 事業体のうち、原水濁度とろ過水濁度の連続監視データがともにある 19 事業体の、原水低濁度及び高濁度時において、ろ過水濁度 0.03 度以上のときのデータ数に、5 %有意確率における有意差があるかどうか Pearson の χ^2 検定を用いて確認するとともに OR 及び 95 %CI を算出した。

4. 浄水残留塩素の比較

全国複数の浄水場における浄水の残留塩素の連続監視データを比較し、残留塩素の管理設定に浄水場毎による違いがあるのかどうか確認した。

また、年間の残留塩素の大きさとフィードバック制御等における短時間の変動の大きさの関係を調べるため、年間の中央値と 4 時間変動（4 時間最大値－最小値）の中央値を比較した。

5. 原水水温と濁度処理状況の比較

複数箇所における原水水温と沈殿水濁度及びろ過水濁度の関係を比較した。それにより、実際の水処理において水温による処理状況を確認した。

C. 研究結果および D. 考察

1. 原水における各項目の挙動

1.1 濁度

濁度は、流域の自然的、人為的な状況に影響され、降雨、融雪等により変化が著しく¹⁾、地域特性や気象特性により濁度の大きさは異なっている。

濁度の測定方式には、透過散乱法、散乱光測定法、積分球式光電光度法等がある。各測定方式には長所短所があるが、本研究では連続データを使用しているため、測定方式による違いは考慮しないこととした。

全国的な傾向として、梅雨の影響や集中豪雨や

台風が発生しやすい 6 月から 10 月にかけて濁度が上昇している傾向が見られた。

濁度平均別の分布を、全国における表流水を原水とした水道事業体（1104 事業体）²⁾ と、今回対象とした 20 事業体を割合で算出し、図 1 に示す。全国分布においては 2.1 度から 5.0 度までの分布割合が多かったが、20 事業体分布においては 5.1 度から 10.0 度まで、10.1 度から 20.0 度までに多く分布されており、全国より濁度平均の高い事業体が多かった。

連続監視データを使用する利点の一つにピークの検出に有用である点が挙げられる。そこで、突発的な高濁度の頻度や雨の影響の受けやすさを確認するため、Origin のピークアナライザ機能を使用し、原水濁度 20 度、30 度、50 度、100 度をピークトップの極値最大と設定（以下、設定ピーク濁度）した。各設定ピーク濁度におけるピーク数の統計解析結果を表 2 に、ボックスチャートを図 2 に示す。なお、ピークアナライザ機能の設定については、例として原水濁度 50 度の場合の設定を表 3 に示す。その他の設定ピーク濁度については、基線モードの Y 軸の値及びピーク検索設定のローカルポイントの値を各設定ピーク濁度の値とした。

設定ピーク濁度 20 度及び 30 度についてはピーク数が 30 回を超える事業体もあり、四分位範囲も大きく、解析に適さなかった。また、設定ピーク濁度 100 度については 0 回を記録する事業体が 7 事業体もあり、解析に適さなかった。設定ピーク濁度 50 度については、原水濁度 50 度以上を高濁度障害としている事業体等もあり、濁度解析を行うにあたり、比較的濁度が高く、かつ多くの事業体でピーク数の計測ができるため、原水濁度 50 度を超えるものをピークと設定した。

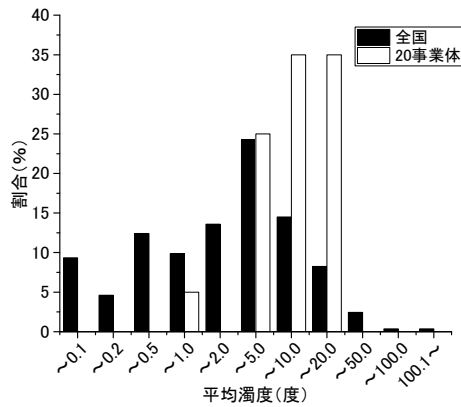


図1 濁度平均分布

表2 設定ピーク濁度別ピーク数解析結果

設定ピーク濁度	N 合計	ピーク数平均	ピーク数標準偏差	合計	最小
20度	20	21.25	17.95279	425	4
30度	20	11.75	8.58931	235	2
50度	20	6.05	4.82837	121	0
100度	20	2.55	2.58488	51	0
設定ピーク濁度	第1四分位 (Q1)	ピーク数中央値	第3四分位 (Q3)	最大	四分位間範囲 (Q3-Q1)
20度	9.5	13	34.5	66	25
30度	6	8	18.5	33	12.5
50度	3	5	8	20	5
100度	0	2	5	8	5

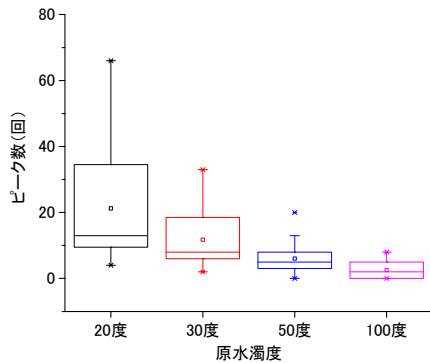


図2 設定ピーク濁度別分布 (ボックスチャート)

表3 Origin 濁度ピーク抽出条件例

モード	項目	設定
ピーク検索設定	モード	基線モード
	定数	Y = 50
	方向	正
ピーク検索設定	手法	局所最大
	ローカルポイント	50
ピークフィット	フィルタリング手法	高さに基づく
	しきい値高さ (%)	1

降雨による濁度変動は気象特性によって違ってくるため、日内変動ではなく水源域の降雨や融雪等の季節変動（年間変動）や濁度分布のばらつきを算出した。極端値及び定量下限値の設定による隔たりの影響を除くため、「第3四分位-中央値」にて評価した。「第3四分位-中央値」は標準偏差に近い考え方であるが、濁度のような突発的に変化する項目において、極値的な値の影響を受けにくい指標と考えられた。

Origin のピークアナライザ機能を使用し、原水濁度 50 度以上の「ピーク数」を解析すると、事業体 I が 20 回、次いで事業体 C が 13 回となった。事業体 R や事業体 T は濁度の最大値が 50 度を超えなかったため、ピーク数は 0 回となった。最大回数を記録した事業体 I と最小回数を記録した事業体 R の連続監視データを図 3 に示す。その年の降雨強度や降雨範囲に依存するものと推察される。ピーク数 0 回となった事業体 R においては、水源として表流水と伏流水をブレンドしており、事業体 T においては、複数の水源を切り替えて運用しているため、降雨等の影響を受けにくかったのだと考えられる。

濁度分布のばらつきを算出するにあたり、極端値及び定量下限値の設定による隔たりの影響を除くため、濁度分布の「第3四分位 (Q3) - 中央値」を算出した。事業体 C が最大で 7.0、事業体 R が最小で 0.2 となった。雪解け等の水源域の季節変動や降雨の特性、河川の特性（流域面積や河床材料等）に依存するものと推察される。

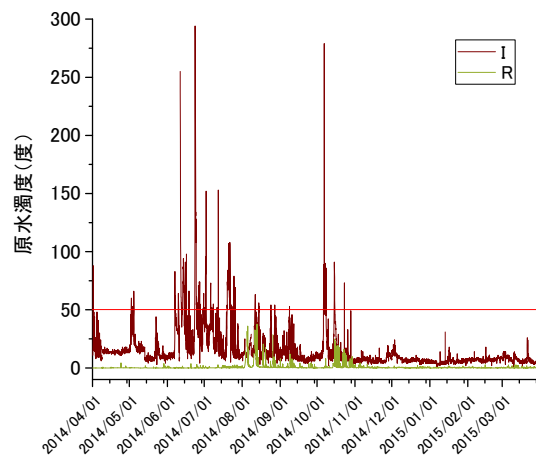


図3 原水濁度連続監視データ

1.2 pH

凝集処理において、pH の値には適正条件があり、条件から逸脱すると、凝集不良が生じる。そのため、pH の変動の監視は重要である³⁾。

pH の測定方式にはガラス電極法、アンチモン電極法、キンヒドロン電極法などがあるが、JIS Z 8802 にて pH 測定方法としてガラス電極法について規定されている。

水が停滞しているダムや湖等の表層では藻類の光合成等の炭酸同化作用により pH の変動が大きいと考えられる。日中は炭酸同化作用により pH が上昇し、夜間には酸素呼吸作用が卓越するため、pH は通常の状態に戻る日周変化をとる⁴⁾。藻類による影響の以外には、地下水においては地質的な影響や、河川においては流域の土壌や温泉等の影響や産業排水等による汚染も考えられる⁵⁾ が、pH の4月から6月までの時系列データを示した図4を見ると、今回対象とした浄水場においては、pH の変動は昼間に上昇し、夜間には減少する傾向が繰り返されていることが多く、藻類による炭酸同化作用の影響を強く受けている浄水場が多いと推察される。

pH 平均値別の分布を、全国における表流水を原水とした水道事業者 (1104 事業者)²⁾ と、今回対象とした 20 事業者を割合で算出し、図5に示す。全国分布においては pH 7.21 から 7.5 までの分布割合が多く、20 事業者分布においても pH 7.21 から 7.5 までに多く分布されている。全国と比べ、今回対象とした 20 事業者は概ね近い分布を示していた。

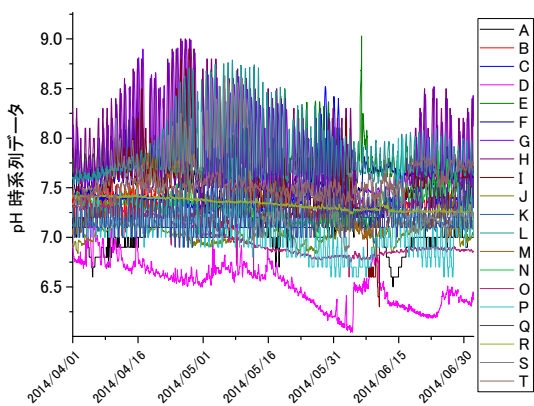


図4 pH 時系列データ (4~6月)

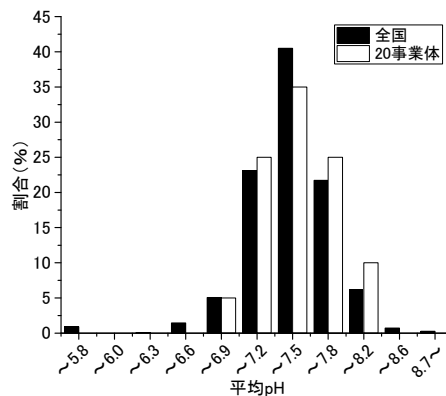


図5 pH 平均分布

藻類及び地質的要因による変動においても絶対値の変動や突発的変動は小さいと考えられる。そこで、水源や取水口近くにおける炭酸同化作用の短い周期 (日内変動) での変動を求めため、1日毎の変動幅 (1日の最大値-最小値) を算出し、「1日変動の中央値」及び「1日変動の四分位範囲」にて評価した。

また、日内変動だけでなく、季節的な変動幅を求めため、1日の代表値として1日毎の最小値を算出し「1日最小値の四分位範囲」にて評価した。

1日毎の変動幅 (1日の最大値-最小値) を算出し、そのボックスチャートを図6に、いくつかの事業者を抽出した連続データを図7に示す。「1日変動の中央値 (pH)」及び「1日変動の四分位範囲 (pH)」を解析すると、中央値は事業者Hが最大で 0.80、次いで事業者Gが 0.43 となった。四分位範囲も、事業者Hが最大で 0.40、次いで事業者Gが 0.37 となった。河川では水の流れによって基本的には藻類が発生しにくく、水が停滞しているダムや湖等の表層で藻類等による炭酸同化作用が起きやすいが、事業者G及びHの原水は、共通の湖・河川を水源の一つとしており、藻類による炭酸同化作用の影響を受けやすい水源や、取水地点 (河川流速、河床深さ等) であると推察される。

中央値及び四分位範囲が小さいのは、ともに事業者Oや事業者Rで、事業者Rについては水源として表流水と伏流水をブレンドした水を取水しているため、大きな変動がなく安定していた。事業者Oは原水をダムから取水しているが、取水する

水深を選択しており、比較的深い位置から取水することで、ダムの上層で起こる炭酸同化作用による pH 変動の影響を受けにくく、日内変動は小さくなっている。

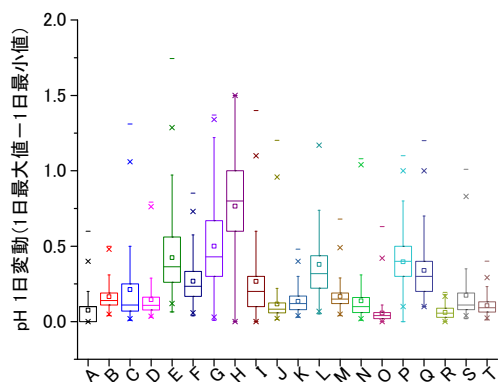


図6 pH 1日変動 (1日最大値-1日最小値) 分布 (ボックスチャート)

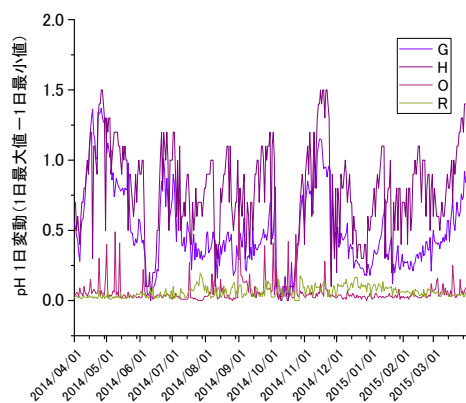


図7 pH 1日変動 (1日最大値-1日最小値) 連続データ

1 日毎の最小値を算出し、そのボックスチャートを図8に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図9に示す。「1日最小値の四分位範囲(pH)」を解析すると、値が小さい事業体では0.1程度であるが、事業体D、事業体I、事業体O、事業体Sなどはそれぞれ0.46、0.40、0.40、0.42となっており、事業体D、事業体Oは、日内変動は小さかったが、年内変動は大きくなっていた。事業体Dと事業体Oは原水をダムから取水しており、ダムの表層では炭酸同化作用による pH 変動が大きいが、両事業体は取水位置が比較的深いため、炭酸同化作用の影響を受けにくく、日内変動は小さくなっている。年内変動が大きくなっていたのは、

取水位置の変更や、曝気装置によるダム湖水の循環の影響によって、季節的な水質の変動幅が大きくなったと推察される。

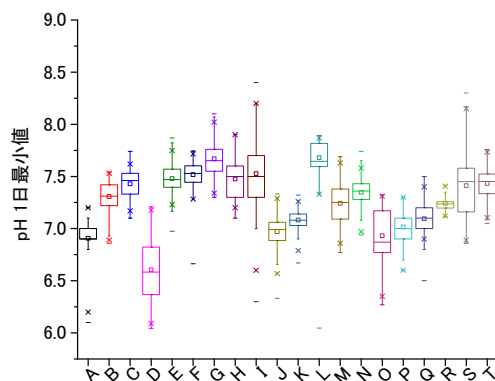


図8 pH 1日最小値分布 (ボックスチャート)

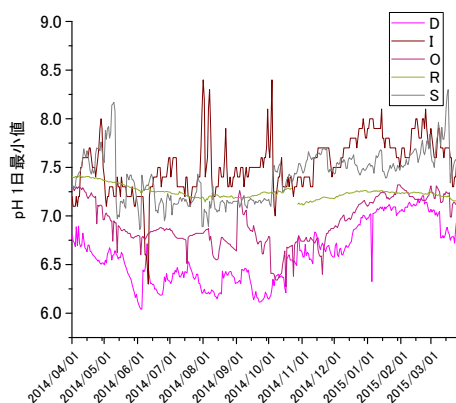


図9 pH 1日最小値 連続データ

1.3 電気伝導度

電気伝導度は、水の電流の通りやすさをいい、水溶性の無機物の多くは水に溶解するとイオンとなる電解質で、電解質の濃度が高い水は、電気伝導度も高くなる。また、迅速に測定できるので、原水への下水、産業排水、海水の混入の推察等の指標としても用いられる¹⁾。

取水口が海に近い場合には、潮汐等により海水の影響や、上流の温泉地の排水の影響等を受け、電気伝導度が高くなる場合がある。

日本の平均的な河川の電気伝導度は $110 \mu\text{S}/\text{cm}$ である⁶⁾ のに対し、今回対象とした 17 事業体の電気伝導度平均は $136.45 \mu\text{S}/\text{cm}$ と高かったが、17 事業体の電気伝導度の標準偏差は 66.03 であり、事業体によるばらつきが大きかった。なお、今回対象とした中には、ダム湖や伏流水とブレンドさ

れた原水もあり、河川のみデータではない。

電気伝導度の測定方法には交流2電極法、交流4電極法、電磁誘導法などがある。

凝集剤によってアルカリが消費されるが、アルカリ度の把握には、アルカリ度を測定する自動水質計器は高価で維持管理が煩雑といった課題がある。そこで、アルカリ度とある程度相関関係が認められ、簡便かつ比較的安価な機器により測定できるため、アルカリ度を監視する指標として電気伝導度を用いることも示唆されている³⁾。

電気伝導度においては、有害物質の混入等による突発的変動は考えられるが、そのような異常の検知以外において、特に地質的に影響を受けやすい場合には絶対値での比較の意義について考慮する必要がある。

そこで、通常時における汚染度や海水比の指標として電気伝導度の大きさを見るため、「中央値」を、水源域の汚染原因の季節変動を求めるため、「相対四分位偏差=四分位偏差/(第1四分位と第3四分位の平均値)」を算出した。

年間データのボックスチャートを図10に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図11に示す。「中央値(電気伝導度)」及び「相対四分位偏差(電気伝導度)」を解析すると、電気伝導度の大きさの指標としての中央値については、事業体F、事業体I、事業体Tがそれぞれ223.2、238.0、290.3と高く、事業体Tにおいては、複数の水源から取水しており、そのうち1つの水源付近の土壌が炭酸カルシウムを多く含んでいることから、水源の切り替えによって変動が大きく出たものと推察された。水源域の汚染原因の季節変動の指標としての相対四分位偏差については、事業体B、事業体Kがそれぞれ0.203、0.212と高く、事業体Rが0.046と低くなっていた。

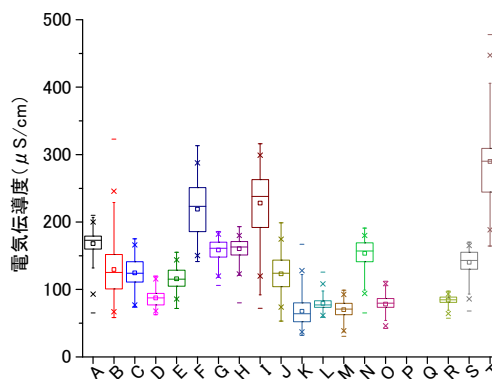


図10 電気伝導度分布(ボックスチャート)

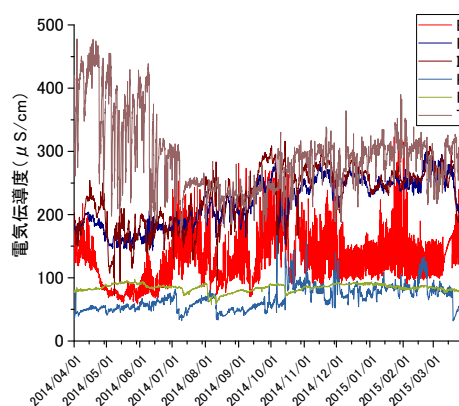


図11 電気伝導度連続データ

次に、ダムの放流などの影響による短い周期のばらつきを求めるため、1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)を算出し「1日変動の四分位範囲」にて評価した。

日内変動のような短い周期の変動値を求めるため、1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)のボックスチャートを図12に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図13に示す。なお、事業体Gにおいては、1時間毎のデータがなかったため、解析対象から除外した。「1日変動の四分位範囲(電気伝導度)」を解析すると、事業体Bが最大で52.50、次いで事業体Tが42.53となった。その他の事業体については、ほぼ一桁となっており、事業体Bと事業体Tの特異性が際立つ結果となった。事業体Bについてはダムの放流頻度による影響、事業体Tについては複数の水源を切り替えて運用していることによる影響と推察される。

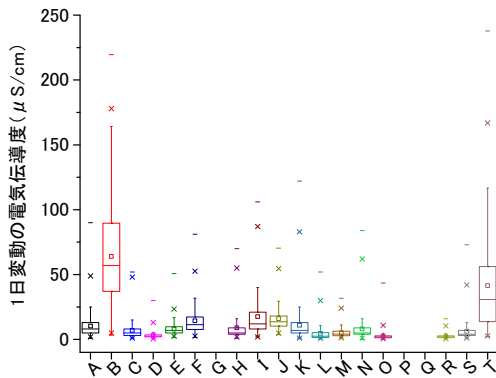


図12 電気伝導度1日変動 分布
(1日最大値-1日最小値) (ボックスチャート)

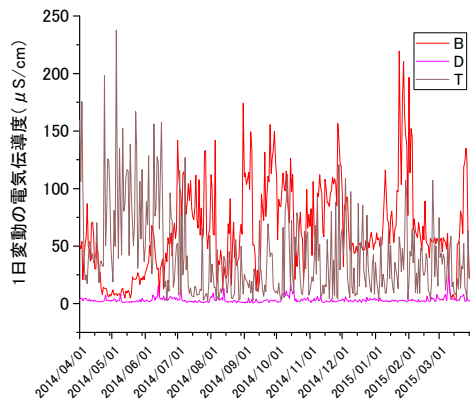


図13 電気伝導度1日変動
(1日最大値-1日最小値) 連続データ

2. 原水安定性の評価

2.1 主成分分析

1.1から1.3までの解析結果のまとめを表4に、原水の安定性に影響する因子について、大きさ、突発性、日内変動、日内変動のばらつき、年間変動に分類し、まとめたものを表5に示す。総合的な原水の安定性を評価するにあたり、表4のデータを用いて主成分分析を行った。

表4 各項目の解析結果まとめ

事業体	濁度		pH			電気伝導度		
	ピーク数	第3四分位-中央値	1日変動の中央値	1日変動の四分位範囲	1日最小値の四分位範囲	中央値	相対四分位偏差	1日変動の四分位範囲
A	7	2.0	0.10	0.10	0.10	173.0	0.056	8.00
B	11	5.2	0.14	0.08	0.20	125.3	0.203	52.50
C	13	7.0	0.11	0.18	0.20	124.0	0.119	5.00
D	1	0.9	0.11	0.08	0.46	87.6	0.099	1.50
E	5	2.2	0.36	0.30	0.17	115.3	0.102	4.85
F	9	3.4	0.23	0.17	0.16	223.2	0.149	9.65
G	4	2.3	0.43	0.37	0.21	161.0	0.069	
H	3	1.3	0.80	0.40	0.30	163.0	0.062	5.00
I	20	6.0	0.20	0.20	0.40	238.0	0.156	13.00
J	6	4.6	0.08	0.07	0.17	124.0	0.159	7.78
K	7	1.3	0.12	0.09	0.11	64.0	0.212	8.00
L	10	1.2	0.32	0.22	0.22	76.9	0.062	3.74
M	2	2.0	0.15	0.07	0.29	70.9	0.119	3.50
N	7	2.0	0.10	0.10	0.15	157.0	0.090	5.00
O	3	4.0	0.04	0.04	0.40	79.7	0.081	1.40
P	4	2.0	0.40	0.20	0.20			
Q	5	1.2	0.30	0.20	0.20			
R	0	0.2	0.06	0.06	0.06	84.7	0.046	1.40
S	4	2.2	0.11	0.11	0.42	143.0	0.088	4.00
T	0	1.2	0.09	0.07	0.19	290.3	0.117	42.53

表5 安定性に影響する因子と主な変動要因

設置項目	原水の安定性に影響する因子				
	大きさ	突発性	日内変動	日内変動のばらつき	年間変動
濁度	地域・気象特性によって濁度の大きさは異なる	雨の影響の受けやすさ → ピーク数	日変動しにくい	日変動しにくい (気象特性による)	水源域の季節変動 (雪解け等) → 第3四分位-中央値
pH	絶対値の変動は小さい	突発的変動は少ない	水源・取水口近くの光合成 (炭酸同化作用) → 1日変動の中央値	水源・取水口近くの光合成の変動 → 1日変動の四分位範囲	水源域の季節変動 → 1日最小値の四分位範囲
電気伝導度	汚染度・海水比 → 中央値	突発的変動は少ない (有害物質の混入等による突発的変動の可能性あり)	突発的変動は少ない (潮汐の影響がある地域では日内変動の可能性あり)	ダムの放流等の影響 → 1日変動の四分位範囲	水源域の汚染原因の季節変動 → 相対四分位偏差

主成分分析は多次元のデータを低次元のデータに集約・視覚化し、データの特徴を掴むのに有用であるため、主成分分析により第1第2主成分に寄与する因子を固有ベクトルで表し、パイプロット図を作成した。

8項目の主成分分析においてはpHと電気伝導度に関する固有ベクトルのばらつきが少なく、濁度と電気伝導度も類似の固有ベクトルであったため、より少ないパラメータで総合評価ができるよう、pH及び電気伝導度について、似た固有ベクトルを持つパラメータを1つずつ除くこととした。「1日変動の四分位範囲(pH)」と「中央値(電気伝導度)」を除き、6つの項目で再度主成分分析を行った。

6項目主成分分析成分の固有値と寄与率を表6に、6項目主成分分析の結果から得られたパイプロット図を図14に示す。累積寄与率は3項目で75.97%に達した。

第1主成分については、濁度変動の影響が強く、第2主成分のプラス側がpHの変動の大きさ、マイナス側が電気伝導度の変動の大きさに影響を受けていることが分かった。第2主成分の因子としては、自然的変動(藻類等による生物由来)、人為的変動(ダム放流や取水の切替え等)が想定されるが、その特定にあたっては今後も引き続き検討が必要である。

図14のパイプロット図を見ると、第1象限(第1主成分プラス側、第2主成分プラス側)に分布する事業体Iは、濁度とpHの影響が大きく、電気伝導度の影響は小さい。第2象限(第1主成分プラス側、第2主成分マイナス側)に分布する事業体Bは、濁度と電気伝導度の影響が大きく、pHの影響は小さい。第3象限(第1主成分マイナス側、第2主成分マイナス側)に分布する事業体Tは電気伝導度の影響が大きく、濁度とpHの影響は小さい。第4象限(第1主成分マイナス側、第2主成分プラス側)に分布される事業体Hは、pHの影響が大きく、濁度と電気伝導度の影響は小さい。第4象限に分布する事業体が比較的多く、濁度や電気伝導度よりもpHの変動の影響が大きい原水が多いことが推察される。

表6 6項目主成分分析成分の固有値と寄与率

	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.33076	38.85%	38.85%
2	1.28673	21.45%	60.29%
3	0.94079	15.68%	75.97%
4	0.81339	13.56%	89.53%
5	0.41359	6.89%	96.42%
6	0.21474	3.58%	100.00%

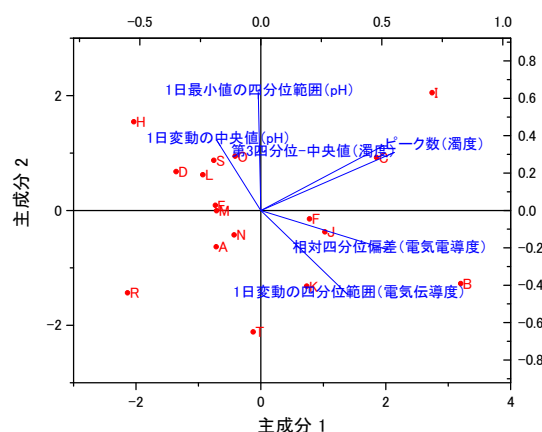


図14 6項目主成分分析 パイプロット図

2.2 レーダーチャート

主成分分析で最終的に選択した6つの項目について、各項目の最大値を1として作成したレーダーチャートを図15に示す。各項目のプロット間を結んだ範囲の大きさにより、各事業体の原水における各項目の総合的な変動の大きさを表すことができた。

事業体Rは6項目において変動が小さく、比較的安定した原水であることがわかる。安定した原水であれば変動への対応も少なくなるため、安定した浄水処理が可能となる。事業体Iは年間変動に関する各項目や濁度のピーク数が大きく、総合的に変動の大きい事業体であり、pHや電気伝導度に関しては日内変動よりも年間変動の方が大きい原水特徴があることがわかる。

事業体Kは電気伝導度の相対四分位偏差の変動が大きく、その他の指標は比較の変動が小さい。電気伝導度の中央値は低く、絶対値は小さいが10月頃から電気伝導度の変動が大きくなっている傾向が見られ、季節的な変動があることに留意が必要である。

このように各事業体の濁度、pH、電気伝導度の

変動特性や、限定的ではあるが原水安定性を視覚的に把握するためのグラフを作成できた。また、各事業体で各項目の値を求めることで、その浄水場がどのような変動を受けやすいか把握し、同様の水系や水源を持つ事業体間での情報共有に有用であると考えられる。これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。

しかしながら、今回作成したレーダーチャートは相対的なものであり、すべての変動パターンを補っているとは言えず、注意が必要である。また、レーダーチャート作成にあたり、各項目の最大値を1としているが、項目ごとに処理における重要度が違うことも推察され、項目によって重み付けを行って原水の安定性を評価することも考えられた。

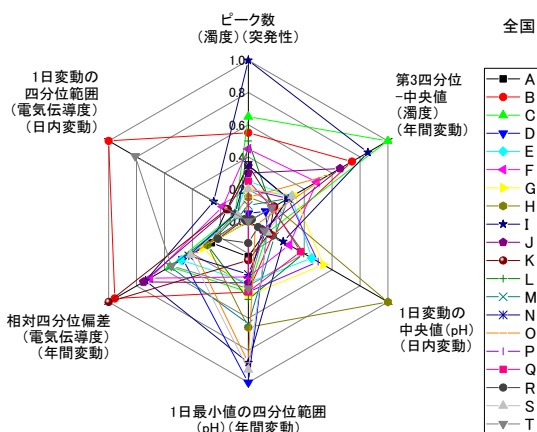


図 15 6項目レーダーチャート

3. 原水及び浄水の濁度挙動に関する検討

3.1 原水及び沈殿水濁度の挙動

7事業体における原水濁度と沈殿水濁度の関係を図16に示す。図16を見ると、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しており、特定の場合を除き原水高濁度時には各浄水場とも着実に対応していることがわかる。沈殿水濁度が高いのは、豪雨時の突発的な原水高濁度時であり、豪雨災害以外の高濁度時の沈殿水濁度は比較的強く抑えられていた。事業体へヒアリングした範囲では、水質計器の値に合わせ自動制御により凝集剤注入量が定められ、かつ、急激な濁度上昇時に

はジャーテスト等で確認して注入率を決定しているため、原水高濁度時でも沈殿水濁度が強く抑えられているところが多かったと推察される。

原水濁度を10度、沈殿水濁度を1.0度で区切り、原水濁度10度以上及び10度未満、沈殿水濁度1.0度以上及び1.0度未満のデータ数の分布を表7に示す。沈殿水濁度1.0度以上のデータは7事業体のうち、6事業体で記録しており、6事業体合計で1391個である。その中で原水濁度10度未満のデータは80.3%に当たる1117個である。しかし、原水濁度10度以上及び10度未満における、沈殿水濁度1.0度以上及び1.0度未満の割合を同じく表7に示す。沈殿水濁度1.0度以上となっている割合は、原水濁度10度以上で2.08%、原水濁度10度未満で2.33%となっており、 χ^2 検定の結果 χ^2 値= 2.89、OR= 1.1 (95%CI: 1.0 - 1.3)となった。自由度1有意確率5%のときの χ^2 値= 3.84であり、2.89 < 3.84のため、有意差なしという結果になった。

図16では沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しているように見えたが、実際のデータ分布の比率では、必ずしも原水低濁度時に沈殿水濁度が高くなりやすいとは言えなかった。

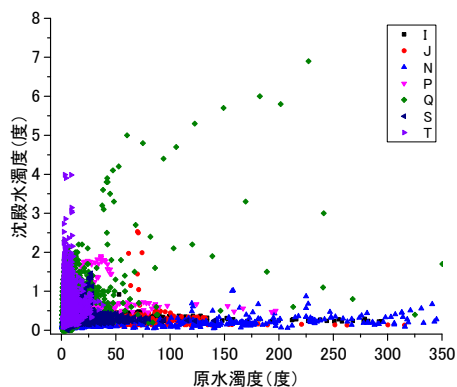


図 16 7事業体における原水濁度と沈殿水濁度の関係

表 7 原水・沈殿水濁度データ数及び割合

原水 \ 沈殿水	10度未満	10度以上	計
1.0度以上	1117 2.33%	274 2.08%	1391
1.0度未満	46911 97.67%	12921 97.92%	59832
計	48028 100.00%	13195 100.00%	61223
χ^2 検定	χ^2 値= 2.89 < 3.84・・・有意差なし		

3.2 原水及びろ過水濁度の挙動

19 事業体における原水濁度とろ過水濁度の関係を図 17 に示す。図 17 を見ると、ろ過水濁度が高いのは図 16 と同様、原水低濁度時に偏在しているように見え、豪雨災害による沈殿水濁度上昇時においても、ろ過池では着実に対応していることがわかる。

原水濁度を 10 度、ろ過水濁度を 0.03 度で区切り、原水濁度 10 度以上及び 10 度未満、ろ過水濁度 0.03 度以上及び 0.03 度未満のデータ数の分布を表 8 に示す。ろ過水濁度 0.03 度以上のデータは 19 事業体のうち 15 事業体で記録しており、15 事業体合計で 679 個ある。その中で原水濁度が 10 度未満のデータは 92.3 % に当たる 627 個である。原水濁度 10 度以上及び 10 度未満における、ろ過水濁度 0.03 度以上及び 0.03 度未満のデータの割合を同じく表 8 に示す。表 8 を見ると、非常に小さい割合だが、ろ過水濁度 0.03 度以上となっている割合は、原水濁度 10 度以上の 0.18 % に比べ、原水濁度 10 度未満では 0.46 % となっている。ろ過水濁度における χ^2 検定の結果、 χ^2 値 = 48.6、OR = 2.6 (95 % CI : 2.0 - 3.5) となった。自由度 1 有意確率 5 % のとき χ^2 値 = 3.84 であり、48.6 > 3.84 のため、有意差ありという結果になった。

全国的に、原水濁度にはばらつきが見られたが、着実に処理を行うことでろ過水では濁度が安定していることが確認できた。しかしながら、ろ過水濁度が相対的に高くなるのは、原水低濁度時に多くなる傾向があり、共通の課題として原水低濁度時にも留意が必要な場合があるということがデータで示された。原水低濁度時には凝集されるフロックが十分になく、微細なフロックがろ過池等に漏出したことが、ろ過水濁度が高くなっている原因の一つとして考えられる。

低濁度原水への対応策についても今後検討していく必要がある。

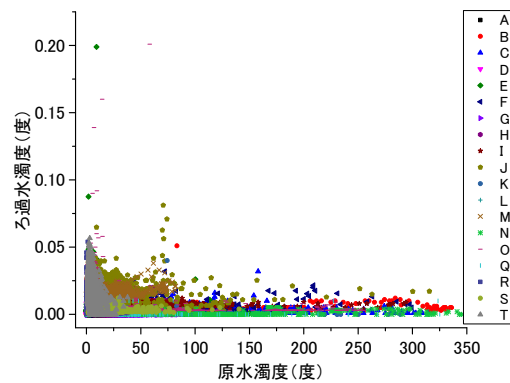


図 17 19 事業体における原水濁度とろ過水濁度の関係

表 8 原水・ろ過水濁度データ数及び割合

ろ過水 \ 原水	原水		計
	10 度未満	10 度以上	
0.03 度以上	627	0.46%	679
0.03 度未満	135677	99.54%	165316
計	136304	100.00%	165995
χ^2 検定	χ^2 値 = 48.6 >= 3.84・・・有意差あり		

4. 浄水残留塩素の比較

残留塩素はろ過池より前に次亜塩素酸ナトリウムを注入している浄水場や、ろ過池後に注入している浄水場、ろ過池前後どちらでも注入している浄水場等があったため、浄水場出口前である浄水における残留塩素の比較を行った。各浄水場の浄水における残留塩素の連続監視データを図 18 に、ボックスチャートを図 19 に、年間の中央値と 4 時間変動 (4 時間毎最大値 - 最小値) の中央値の関係を図 20 に示す。

図 18 と図 19 を見ると、事業体 D や事業体 T は年間通して高く設定しており、中央値はそれぞれ 1.05、1.05 で、四分位範囲は 0.07、0.06 となっている。事業体 R は年間通して低く設定しており、中央値は 0.36 で、四分位範囲は 0.06 となっている。事業体 P は夏場に高く設定しており、中央値は 0.76 で、四分位範囲は 0.19 となっている。このように事業体毎の残留塩素の管理の違いが確認できた。

図 20 を見ると、20 事業体において 4 時間変動の中央値は 0.1 以下になっており、全国的にフィードバックにより着実に制御されていることが確認された。残留塩素の年間の中央値が高い浄水場は、4 時間変動の中央値も比較的高くなる傾向が見られ、次亜塩素酸ナトリウムの注入量が多い浄水場は、短時間における変動も大きくなりやすく、

注入量が少ない浄水場に比べ、フィードバック制御のばらつきは安定しにくいと推察された。なお、5時間変動においても同様の傾向が見られた。

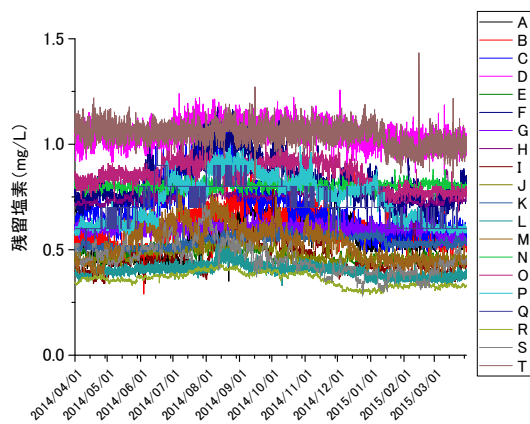


図 18 浄水における残留塩素 連続データ

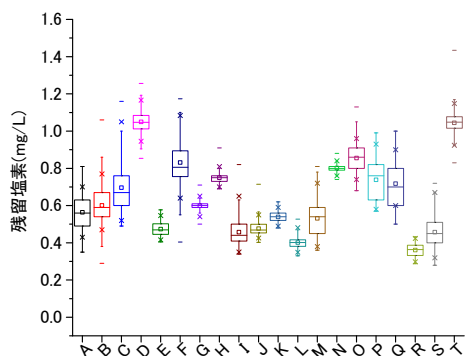


図 19 浄水における残留塩素分布 (ボックスチャート)

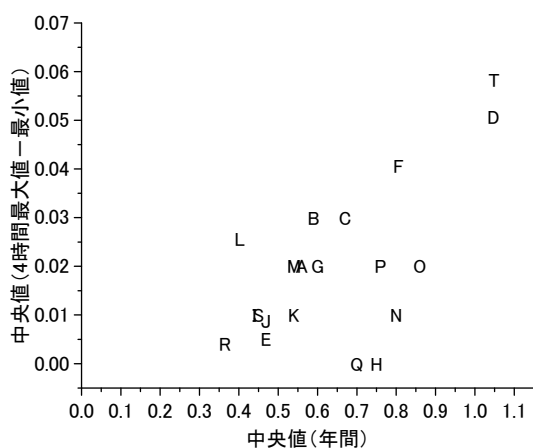


図 20 浄水における残留塩素の年間中央値と4時間変動の中央値の関係

5. 原水水温と濁度処理状況の比較

実際の水処理における水温による処理状況を確認するために、原水水温と沈殿水濁度及びろ過水濁度の関係を調査した。

5.1 原水水温と沈殿水濁度の関係

図 21 に原水水温と沈殿水濁度のグラフを示す。なお、図 21 は代表的な4事業体を抽出した。

図 21 を見ると、事業体PやQのように低温時に沈殿水濁度が上昇している事業体もあるが、事業体Tのように高温時においても沈殿水濁度の上昇が確認された。

なお、事業体Qにおける高温時に沈殿水濁度が上昇しているのは豪雨災害のあった1日での変動であったが、ろ過水濁度では基準値内に適切に処理されていた。

高温時には生物障害等濁質の違いも推察されるが、低温時だけでなく高温時にも沈殿水処理状況が悪化している状況を確認できた。

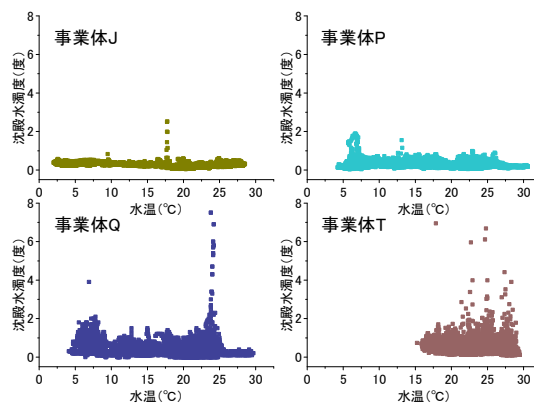


図 21 原水水温と沈殿水濁度

5.2 原水水温とろ過水濁度の関係

図 22 に原水水温とろ過水濁度のグラフを示す。なお、図 22 においても代表的な4事業体を抽出した。

図 22 を見ると、事業体Bのように低温時にろ過水濁度が上昇している事業体もあるが、事業体SやTのように高温時においてもろ過水濁度の上昇が確認された。

沈殿水同様、濁度上昇原因の違いも考えられるが、沈殿水に続くろ過水においても低温時だけでなく高温時にもろ過水処理状況が悪化している状況を確認できた。

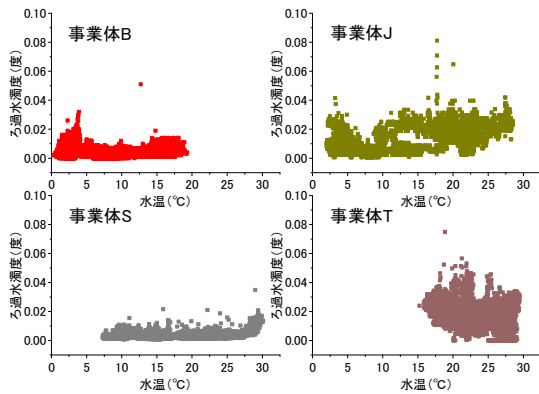


図 22 原水水温とろ過水濁度

なお、本研究における解析は1時間毎のデータで行った。10分毎で取得したデータについてピーク数等の解析を行ったところ、ピーク数は2倍以上に増えるデータもあったが、データ数が多く取り扱いが困難となる上、変動が激しくノイズとの区別が難しかったため、今回は1時間毎のデータを用いた。

このようなデータ間隔に関する考察は、データ解析上重要な役割を占めているが、事業体毎に取得データや保存データの間隔や期間が異なるため、今回は1時間毎のデータ1年間で解析を行った。より詳細な検討は今後の課題である。

E. 結論

- 総合的な解析を行った例は少ないと考えられる自動水質計器のデータについて、収集を行った。全国20事業体の連続監視データのうち、設置事業体数が多い原水濁度、pH、電気伝導度の連続監視データについて、水質変動の比較解析を行った。
- その変動の特性把握のため、濁度については「ピーク数」「第3四分位-中央値」、pHについては「1日変動の中央値」「1日変動の四分位範囲」「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度については「中央値」「相対四分位偏差」「1日変動の四分位範囲」が重要であることを示した。
- 結果について、最終的に濁度の「ピーク数」「第3四分位-中央値」、pHの「1日変動の中央値」「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度の「相対四分位偏差」「1日変動の四分位範囲」の6項目について主成分分析を行ったところ累積寄与率は3項目で75.97%であった。レーダーチャートを作成することにより、各事業体の原水における濁度、pH、電気伝導度の変動特性や、限定的ではあるが視覚的に把握できた。

- 原水濁度の「ピーク数」は降雨等の影響を強く受けていると見られ、「第3四分位-中央値」は水源域の雪解け等の季節変動を表すと考えられ、濁度の変動は流域の特性や気象特性などと関連すると考えられた。
- 原水pHの「1日変動の中央値」は水源や取水口近くの光合成(炭酸同化作用)を表し、「1日最小値の四分位範囲」は水源域の季節変動を表すと考えられ、特に藻類等による炭酸同化作用を受けやすい場合の変動が顕著に見られ、炭酸同化作用の影響の受けやすさにより左右されるものと推察された。
- 原水電気伝導度の「1日変動の四分位範囲」はダム放流等の人為的な影響の日内変動を表し、「相対四分位偏差」は水源域の汚染原因の季節変動を表すと考えられた。原因は必ずしも明らかでないが、上流の温泉地の排水の流入や水源の切り替え等、人為的な要因により変動していることが推察された。
- これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。
- 全国複数浄水場における、原水、沈殿水、ろ過水での濁度の変動も比較解析を行った。原水では浄水場毎に濁度のばらつきが見られたが、多くの浄水場において、着実に処理をすることでろ過水では濁度が安定していた。
- 全国的に多くの浄水場で、原水低濁度時にろ過水濁度が相対的に高くなる傾向が見られ、原水低濁度時に、微細なフロック等によりろ過水濁度が高くなるという共通の課題が示された。
- 事業体毎の残留塩素の管理の違いが確認できた。20事業体の浄水場は、フィードバックにより、残留塩素の短時間の変動は0.1以下に着実に制御されていたが、残留塩素が高い浄水場は短時間の変動も比較的大きくなる傾向が確認できた。
- 原水低温時だけでなく、高温時においても沈殿水濁度及びろ過水濁度が上昇している事業体が確認できた。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

- 論文発表
投稿中。

2. 学会発表

- 1) 斎藤健太、朝野正平、宮林勇一、小池友佳子、浅見真理、小坂浩司. 連続監視データの解析による原水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議（水道研究発表会）講演集. 2016/11/9～11、京都市、pp. 672-673 .
- 2) 朝野正平、斎藤健太、宮林勇一、小池友佳子、浅見真理、小坂浩司. 連続監視データの解析による浄水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議（水道研究発表会）講演集. 2016/11/9～11、京都市、pp. 674-675 .

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし。

3. その他

該当なし。

I. 参考文献

- 1) 眞柄泰基、赤澤寛、橋本徳蔵、森田亮吉、大澤英治：水道水質辞典、株式会社日本水道新聞社（2002）
- 2) 公益財団法人日本水道協会：水道水質データベース、
<http://www.jwwa.or.jp/mizu/list.html>（2017年1月時点）
- 3) 公益財団法人水道技術研究センター：高濁度原水への対応の手引き、
http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/handbook_koudakudo.html（2017年1月時点）（2014）
- 4) 公益財団法人水道技術研究センター：浄水技術ガイドライン 2010、公益財団法人水道技術研究センター、pp. 40-43（2010）
- 5) 国土交通省：河川水質試験方法（案）、
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide_line/kasen/suishitsu/houhou.html（2017年1月時点）
- 6) 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦の水質調査データ水質用語集、
<http://www.ktr.mlit.go.jp/kasumi/kasumi001012.html>（2017年1月時点）