

B-48 小笠原村父島の水道原水の 有機物濃度推定に関する一考察

山崎 公子^{1*}・小泉 明¹・具 滋茸²
○ 関 丙大¹・千葉 勇人³・増山 一清³

¹首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 (〒192-0397東京都八王子市南大沢1-1)

²ソウル市立大学 環境工学部 環境工学科 (〒192-0397韓国ソウル市)

³小笠原村建設水道課 (〒100-2101東京都小笠原村父島字西町)

* E-mail: nosu@tmu.ac.jp

1. はじめに

小笠原村の水道原水はフミン質を多く含む有機物濃度が高い。1970年代半ばには、水道水中のトリハロメタン濃度が高いことが問題となり、浄水処理方法を見直し、一部変更を行った。まず、原水に粉末活性炭を注入して、原水の有機物濃度の低減を図り、さらに、前塩素処理を中止した。その結果、トリハロメタンの生成が抑制され、水道水の総トリハロメタン濃度を水質基準以下に低減化することができた。しかし、粉末活性炭の使用は、浄水処理費用の上昇、廃棄物量の増加となる。

現在、粉末活性炭の注入率はおおむね20mg/Lで一定となっており、原水水質の変動に伴って活性炭注入率を変化させることはほとんど行っていない。小笠原村の浄水場では、水温、濁度といったセンサーによる簡易測定が可能な項目については、日常的に測定されているが、測定に時間を要する項目や分析技術、専門知識が必要な項目については月1回の測定であり、高度な分析機器を使用する項目については年1回外部に分析を委託している。したがって、水道原水の有機物濃度は総有機炭素(以下、TOC)濃度として月1回の測定となっているため、毎日の水道原水のTOC濃度の把握はできていないのが現状である。現在行われている前処理としての粉末活性炭の注入率は、原水水質がある程度変動しても活性炭注入率が20mg/Lであれば、浄水のTOC濃度や総トリハロメタン濃度が水道水質基準値を満足するという現場管理者の経験から決められた値である。図1に原水と浄水のTOC濃度の時系列グラフを示す。図から、原水のTOC濃度の変動が大きいたことが伺え、また、浄水のTOC濃度は、水道水水質基準値(3mg/L)以下となっているが、安全のために村が設定した浄水管理目標値(1.5 mg/L)を

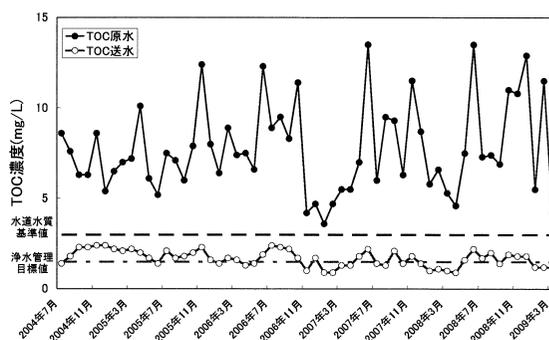


図1 原水及び浄水のTOC濃度

超えている測定結果が多い。浄水のTOC濃度の変化は原水と相関が高く、これは活性炭注入量が原水TOC濃度の変化に対応し切れていないことを示していると考えられる。

そこで、本稿では日常的に測定されている水質項目を用いて水道原水のTOC濃度の推定式を作成し、毎日のTOC濃度を推定することによって、原水水質に対応した活性炭使用量を算定するための情報を提供することを目的とする。

2. 浄水処理の概要及び使用データ

本稿で対象とした小笠原村父島扇浦浄水場は、計画1日最大配水量は1,100(m³/日)の小規模浄水場である。表流水、ダム貯水と浅井戸を水源としており、全ての水源からの合計1日最大取水量は1,140(m³/日)となっている。原水は、フミン質により茶褐色に着色しており、有機物濃度も高い。扇浦浄水場では浄水処理の最初に粉末活性炭の添加を行ない、原水中の有機物濃度の低減を行なっている。その後、ポリ塩化アルミニウム(PAC)を凝集剤

として添加し、凝集沈殿処理を行っているが、PAC注入率も200mg/L前後と非常に高い。沈殿池からの流出水に塩素を添加し、中塩素処理を行い、最後に、急速ろ過後、硫酸アンモニウム添加によりクロラミン処理し、配水している³⁾。

毎日の測定項目は、水温、pH、濁度、色度、電気伝導度、アルカリ度の6項目であり、午前と午後の2回測定されている。この6項目は月1回の測定でも測定されている項目である。そこで、月定期測定データから、総有機炭素(以下、TOC)濃度を目的変数、毎日測定されている項目と同じ6項目を説明変数として重回帰分析を行い、TOC濃度の推定式を作成する。

重回帰分析に使用した月1回の定期水質測定データは、2004年度7月から2008年度末までの57個である。まず、TOCと説明変数である水温、pH、濁度、色度、アルカリ度、電気伝導度との相関係数を求めた。非線形の関係も考慮して対数変換したデータについても相関係数を求めた。結果を表1に示す。

表1 相関分析結果

	TOC	
	無変換	対数変換
水温	0.194	0.242
濁度	0.506	0.457
色度	0.667	0.631
pH値	-0.174	-0.196
アルカリ度	-0.380	-0.379
電気伝導率	-0.479	-0.531

90%有意水準： $r_{90}=0.338$ ，95%有意水準： $r_{95}=0.261$ ，
99%有意水準： $r_{99}=0.220$ ， $n=57$

相関分析結果を参考に、水温、pH、濁度、色度、アルカリ度、電気伝導度の中から説明変数を選択し、TOCを目的変数とする重回帰モデル式を作成した。

重回帰分析による推定式は、

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad \dots\dots\dots (1)$$

y : 目的変数, x_n : 説明変数, b_n : 係数, a : 定数
という線形式で表される¹⁾。目的変数と説明変数の関係が非線形の場合には

$$\hat{y} = a x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot x_n^{b_n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表されるが、両辺の対数をとると

$$\ln(\hat{y}) = \ln(a) + b_1 \ln(x_1) + b_2 \ln(x_2) + \dots + b_n \ln(x_n) \quad \dots (3)$$

となり、対数変換したデータを(1)式に用いた形となる²⁾。

説明変数選択の際には、目的変数との相関関係、説明変数同士の内部相関、自由度調整済み相関係数 R^* の大小、物理的有意性を考慮した。ここで、物理的有意性とは、選択された説明変数の「係数」と「目的変数との相関係数」の正負の整合性で示される。

選定された推定式を(4)式に示す。

$$y = -0.723 + 0.201x_1 + 0.090x_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

($R^*=0.735$, $n=57$)

y : TOC (mg/L), x_1 : 水温(°C), x_2 : 色度(度)

(4)式では説明変数として色度が選択されている。毎日測定されている水質6項目のうち、色度以外は2004年4月から5年間のデータが蓄積されているが、色度については2006年7月から測定を開始しており、日データとしての蓄積は3年に満たない。したがって、5年間の日データを推定するには、説明変数として選択された色度をさらに他の水質項目によって推定して用いるという2層構造になる。そこで、色度を除く5個の水質項目から説明変数を選択して重回帰分析を行い、最終的に選定された推定式を(5)式に示す。

$$\hat{y} = 8.617 x_1^{0.833} \cdot x_2^{0.360} \cdot x_3^{-1.146} \cdot x_4^{-0.321} \quad \dots\dots\dots (5)$$

($R^*=0.687$, $n=57$)

\hat{y} : TOC (mg/L), x_1 : 水温(°C), x_2 : 濁度(度),
 x_3 : pH, x_4 : アルカリ度(度)

(4)、(5)式による推定値を平成21年度のデータで検証した結果を図2に示す。検証期間である平成21年度の実測値と推定値との誤差平方和を求めると、(4)式による推定値では45.7、(5)式による推定値では15.1となり、検証期間では(5)式の方が当てはまりが良い。この検証結果と色度の日データ測定期間が3年未満ということを考慮し、TOCの推定式は(5)式を採用する。

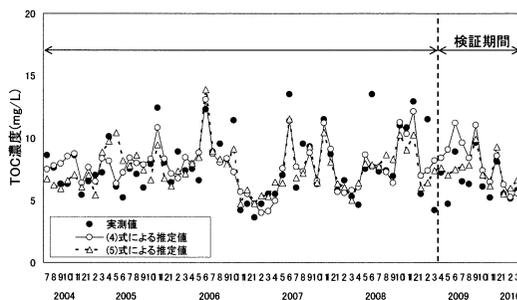


図2 (4)式と(5)式によるTOCの推定と検証

3. 過去5年間の濃度範囲の検討

2.で作成した推定式(5)を用いて日推定値を求めた。図3に、日推定値を求めるために使用する説明変数の時系列グラフを示す。このデータを(5)式に代入することにより過去5年間の原水TOC濃度を逆推定することができる。原水TOC濃度の日データ推定結果を図4に示す。2004年度から2008年度までのTOC濃度は、4.0~23.9mg/Lの範囲、平均値は7.8mg/Lと推定された。

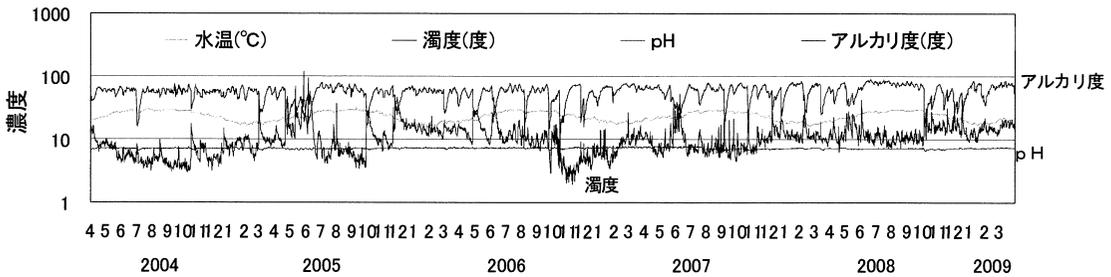


図3 日データ推定に使用した説明変数の時系列グラフ

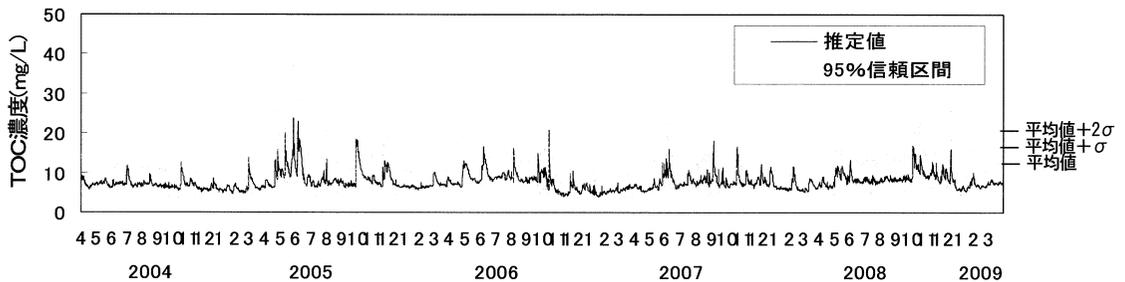


図4 推定されたTOCの日データ

現在、粉末活性炭の注入率はほぼ一定となっているが、今回の推定式を用いることによって、注入率を毎日変化させ原水濃度に対応した粉末活性炭注入量とすることが可能となった。それには、現地の水道原水と浄水場で使用している粉末活性炭を用いて、有機物吸着実験を行うことによって吸着等温線を求め、小笠原の水道原水TOC濃度と粉末活性炭注入率との関係をあらかじめ求めておくことが必要である。ここで、図1で示したように、浄水のTOC濃度は小笠原村の浄水管理目標値を超えていることが多く、浄水管理目標値を満足させるためには活性炭の注入量が現在よりも増加することが考えられる。注入量の増加は浄水費用に反映すると共に、浄水場から排出される最終廃棄物量の増加につながる。

以上のことから、現在行われている粉末活性炭注入に変わる、維持管理費用が安価で最終廃棄物量が少ない前処理への変更の検討が必要である。そのためには、水道原水のTOC濃度範囲、特に上限値が基礎資料として示されなければならない。今回の推定式作成に使用したデータは、水質安定時に測定されたものがほとんどであるため、原水水質の濃度範囲推定には95%信頼区間上限値を元に求める。95%信頼区間上限値の最大値を処理対象範囲に設定すれば、原水水質の急激な悪化にもほぼ対応できる浄水プロセスとなるが、このような水質濃度になるケースは実際には非常に少なく、年間数回であると推定できる。したがって、通常時には、過大な施設能力となり、維持管理上も好ましくない。

そこで、95%信頼区間上限値を用い、「平均値+2σ」(19.7mg/L)、「平均値+σ」(16.1mg/L)、「平均値」(12.6mg/L)

の3つを設定値とし、推定値が設定値以下となる割合を求めた。設定値を「平均値+σ」とした場合、これを超過する推定値は1%未満であり、過去の実測値もすべてこの値を下回っているため通常の水質の状態には十分対応できると考えられる。

4. おわりに

本稿では、水質測定データの蓄積が少ない小規模水道である小笠原村父島を対象として、原水TOC濃度を推定する推定式を、測定頻度の高い水質項目を説明変数として用いて構築した。得られた式により過去5年間の日濃度変化を逆推定し、水道原水のTOC濃度範囲を得た。

本稿で示した水質濃度推定方法は、データの蓄積が少ない他の水道事業者においても利用可能であり、有用な方法である。また、提案した方法は、新規水源の検討の際にも応用でき、簡易に測定できる水質項目を使用することで、少ない水質分析の回数でも対象とする水質変動の推定が可能になると考えている。

今後は、浄水についても同様の解析を行い、浄水場維持管理に有用な情報を提供したいと思っている。

参考文献

- 1) 米谷榮二：土木計画便覧、丸善、pp.588-590、1976
- 2) 山崎公子・小泉明・横山勝英・北澤弘美・斉藤滋：貯水池に流入する富栄養化原因物質の予測モデルに関する研究、土木学会環境工学フォーラム講演集、Vol.44、pp.161-163、2007
- 3) 山崎公子・小泉明・石川勝之：小笠原村父島における上水道管理データの時系列解析、第52回全国水道研究発表会講演集、pp.68-69、2001