

B-25 降水が水道原水の懸濁物質およびその浄水処理時の凝集剤注入量に与える影響

○下ヶ橋 雅樹^{1*}・山田 俊郎²・中村 怜奈^{3,1}・小坂 浩司¹・秋葉 道宏⁴

¹国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究分野 (〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6)

²岐阜大学工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

³横浜市水道局 (〒231-0017 神奈川県横浜市中区港町1-1)

⁴国立保健医療科学院 (〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6)

* E-mail: sage@niph.go.jp

1. はじめに

異常気象¹⁾に伴う自然災害の頻発が懸念されるなか、特に近年温暖化に伴う集中豪雨の回数の増加傾向が指摘されている²⁾。集中豪雨は洪水や土砂崩れなど日常生活を物理的に直撃する危険な災害をもたらすことに加え、様々な産業活動にも直接、間接的に幅広い影響を及ぼす。水道事業もそのひとつとなる。そもそも水道事業は積雪量の減少や融雪時期の変化、水需要量の増加などに伴う渇水リスクの増加などの様々な気候変動の影響を受け³⁾、気候変動に対応した水道システムの構築が求められている⁴⁾が、豪雨回数の増加⁵⁾など降雨パターンの変化による水道原水水質に与える影響も浄水処理の上で大きな懸念材料となる。特に豪雨時には大量の表面流出に伴い表流水中に大量の浮遊物質が流入し濁度の急上昇を招く。この濁度の急上昇に対応しても適切な浄水処理を継続的に行うためには、降雨が濁度に与える影響やそれに伴う凝集剤注入量の推移を把握することが重要である。

本研究では、表流水を水源とするいくつかの浄水場を対象として、長期的な視点から、各々の月ごとの降水量と濁度の関係性を明らかとするとともに、濁度と凝集剤使用率の関係を整理し、降雨が浄水プロセス管理に与える影響を考察することを目的とした。

2. 方法

表流水を原水として急速ろ過による浄水処理を行っている全国4か所の浄水場A~Dを対象として、数式解析を通じて、降水量と原水濁度の関係を整理した。

降水量と濁度の関係解析対象期間は2004年あるいは

2005年から2010年とし、各浄水場の月ごとの原水平均濁度、浄水量および凝集剤使用量をもととした。一方、それぞれの浄水場の原水取水口付近あるいはその上流部で、原水水質に直接関係性があると思われる地点の同期間の月間降水量を、アメダス⁶⁾から入手した。

濁度に対する表面流出の影響を把握するための数理モデルとしては、SCS curve number法⁷⁾を参考に立式した以下の式を使用した。

$$C_{i,j} = a_j \cdot X_{i,j} + b_j \quad (1)$$

$$X_{i,j} = \begin{cases} \frac{(R_{i,j} - 0.2 \cdot Y_j)^2}{(R_{i,j} + 0.8 \cdot Y_j)} & \cdots R_{i,j} > 0.2 \cdot Y_j \\ 0 & \cdots R_{i,j} \leq 0.2 \cdot Y_j \end{cases} \quad (2)$$

$$Y_j = 25.4 \left(\frac{1000}{Z_j} - 10 \right) \quad (3)$$

ここで、 $C_{i,j}$ は*i*月の平均濁度[-]、 $R_{i,j}$ は地点における*i*月の日平均降水量[mm/day]、 $X_{i,j}$ は*j*地点における*i*月の流出量[mm/day]、 Y_j 、 Z_j はそれぞれ*j*地点における*i*月の保持量[mm/day]、および土壌特性[-]を代表す変数である。また、 a_j 、 b_j はそれぞれ表面流出水中の濁度、および表面流出がない場合の原水濁度に関連するパラメータである。

表面流出は季節によって異なる植生の影響や、積雪の有無の影響を受ける。また、濁質成分となる植物プランクトンやデトリタス、リターなども季節によって異なるものと考えられる。今回の解析ではできるだけこれらの影響を排除するため、各年のデータのうち、6~10月を対象とした。また、SCS curve number法では日雨量を基準としている。このため、解析では月雨量をその月の日数で除することによりその月の平均日雨量を算出した。式(3)の Z_j 、および式(1)のパラメータ a_j 、 b_j は、Microsoft Excel

のソルバーを用いて、非線形最小二乗法にて決定した。

一方で、降水量、濁度と凝集剤使用率の関係は濁度上昇時の浄水プロセスの管理運営上重要な情報となる。ここでは各浄水場について、上述の流出量予測による解析と同様に6～10月のデータを対象として、月平均濁度と月平均凝集剤使用率の関係を、その月の日平均降水量の違いで整理した。月平均凝集剤使用率は月あたりの凝集剤使用量を月浄水量で除することにより得た。

3. 結果および考察

各浄水場での6～10月の日平均降水量と月平均濁度の関係の実測値、モデル式による回帰曲線、ならびに各パラメータ値と決定係数 R^2 を図1～4に示す。A浄水場では明確な相関性は見られなかったが、B～D浄水場では雨量増加に伴う濁度上昇傾向が認められた。また、B～Dの共通的な性質として、日平均雨量5 mmを超えるあたりから濁度が上昇する傾向がみられた。

一方、A浄水場（図-1）では、2つの濁度の高い点（Event A-1, A-2）がみられる。これらの高濁度化は降水量では説明できなかったが、濁度上昇という観点から、重要なイベントと考えられる。A-1は前月から27日間、無降雨日が続いていた。また、観測期間の降水量平均値と比較して半分程度の降水量であった。また、当月の原水水温は観測期間（2005年～2010年）平均が15.9℃であったのに対し、17.4℃と1.5℃高いものであった。今回の解析では、豪雨による濁度上昇に注目した流出解析を行っていたが、A-1はむしろ少雨、ならびに高温による影響が考えられる。A-2はA-1とは逆に、降水量は期間平均値の2倍程度、水温は0.9℃低い状態であった。また、A-2では同月、1時間あたり10 mmを超える日が4回（うち2回は2日連続）観測されている。以上のことから、A-2の濁度上昇は、今回の回帰モデルでは表現できなかったものの、集中的な豪雨による水量増加が要因の一つと考えられる。B浄水場（図-2）では、1つの高濁度点がみられる（Event B-1）。この月には、今回対象としたほかの測定月にはみられなかった日最大雨量100 mmを超える雨が観測されている。水温はほぼ測定期間の平均値と等しかった。したがって、この濁度上昇もA-2と同様に集中的な豪雨の影響の可能性が考えられる。C浄水場（図-3）では相関性は他に比べて高いが、低降水量域ではばらつきが大きく、またベースラインを示すパラメータ b_1 の値がほかにくらべて高いものとなった。高値を示したEvent C-1の気象的な特徴としては、当月の降水量が期間中の同月平均に対して35%であった点があげられる。また、無降水日が22日間あったことも、特徴の一つである。このようなことから、上述のA-1と同様の要因が影響し

た可能性が考えられる。D浄水場（図-4）においては特に目立った高値は見られず、全体として良好な相関が得られたものと考えられる。

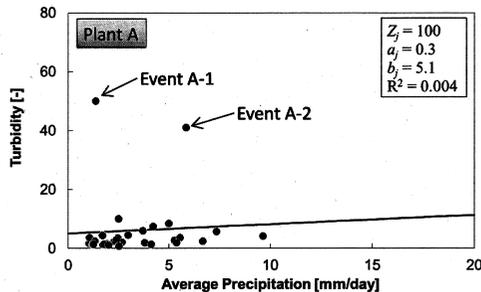


図-1 A浄水場における月平均原水濁度とその月の日平均降水量

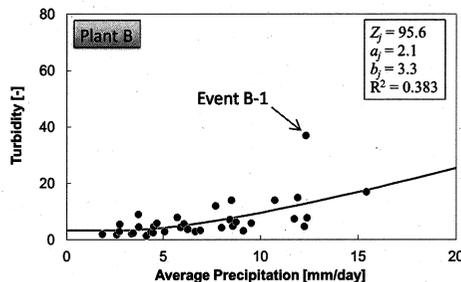


図-2 B浄水場における月平均原水濁度とその月の日平均降水量

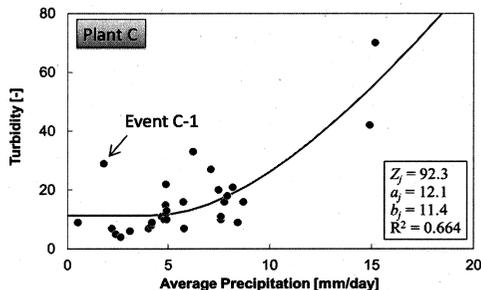


図-3 C浄水場における月平均原水濁度とその月の日平均降水量

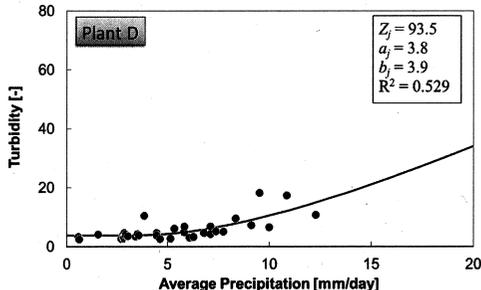


図-4 D浄水場における月平均原水濁度とその月の日平均降水量

各浄水場の濁度と凝集剤注入率の関係を図-5～8に示す。降水量については、日平均5 mm/day以上を多雨月、5 mm/day未満を少雨月として整理した。また図-1～4で見られた高濁度値 (Event A-1, A-2, B-1, C-1) についても図中に記載した。なお、凝集剤は、A～C浄水場ではポリ塩化アルミニウムを、D浄水場では硫酸アルミニウムを使用している。

A浄水場 (図-5) では、多雨月での凝集剤注入率が少雨月のそれに比べて有意に高く (検定, $p<0.01$), 1.6倍となった。また、A-1, A-2ともに凝集剤注入率も高い値であったが、これらに関しても多雨であるA-2のほうが少雨のA-1よりも高い注入率であった。B浄水場 (図-6) とD浄水場 (図-8) では、調査期間における凝集剤注入率に大きな変動はなく、少雨月と多雨月の凝集剤注入率に有意な差はみられなかった。C浄水場においては、B, Dと比べて濁度上昇に伴う凝集剤注入率増加は比較的確であったが、少雨月と多雨月の差はみられなかった。

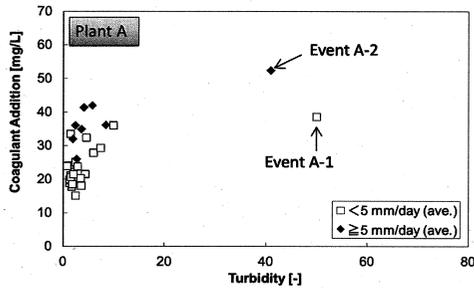


図-5 A浄水場における月平均原水濁度と凝集剤投入率

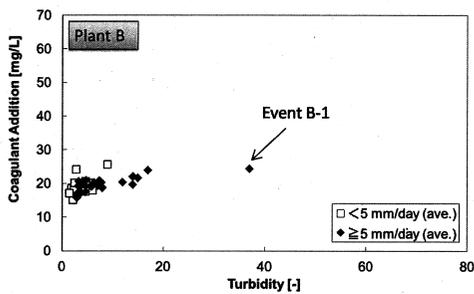


図-6 B浄水場における月平均原水濁度と凝集剤投入率

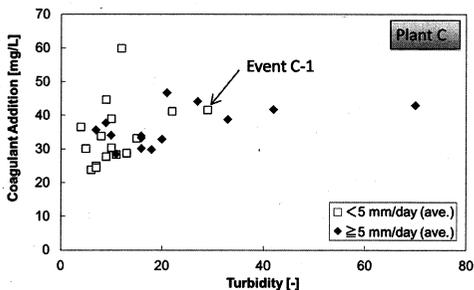


図-7 C浄水場における月平均原水濁度と凝集剤投入率

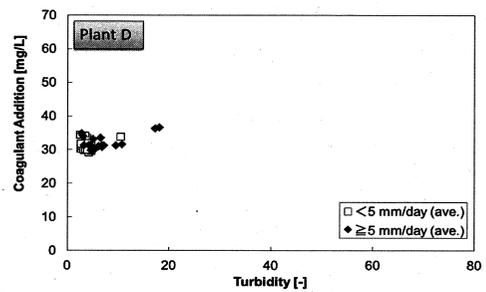


図-8 D浄水場における月平均原水濁度と凝集剤投入率

4. まとめ

降水が水道原水の濁度とその処理法としての凝集剤注入量に与える影響を、7～8年間程度の期間の月あたりの観測値という長期的な視点で整理した。調査を実施した4事例うちの3事例では月降水量と濁度の関係が降水に伴う表面流出を表す式にておおむね表現できたと考えられる。また日あたり降水量によって少雨と多雨を分類した場合、少雨時には凝集剤使用率が低く、多雨時には高いという傾向がみられたケースが1事例あった。

謝辞: 本研究は、環境省環境研究総合推進費S-8温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究「気候変動による水資源への影響評価と適応策に関する研究」(研究代表者: 滝沢智)の支援を受けて遂行された。また、浄水場データの入手にあたり関係水道事業者の方々にご協力いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁: 異常気象レポート 2005 概要版 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～ (VII), 2005.
- 2) 文部科学省, 気象庁, 環境省: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」, 2009.
- 3) 山本陽一, 新井規夫, 古川健太, 高松千尋: 気候変動が水道事業に与える影響に関する調査, 第62回全国水道研究発表会講演集, pp. 6-7, 2011.
- 4) 青木秀幸: 気候変動に対応した飲料水管理手法の開発に関する研究 東京都水道局における気候変動への取組, 2009.
- 5) 文部科学省, 気象庁, 環境省: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」, 2009.
- 6) 気象庁: アメダス (<http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>)
- 7) Neitsch, S.L. and Arnold, J.G., Kiniry, J.R., William J.R.: Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation Version 2009, 2009.