

B-69 小河内貯水池の水質特性総合評価方法 に関する一考察

○村山 道彦^{1*}・山崎 公子²・小泉 明²・横山 勝英²
藤村 和彦³・庄司 亮³

¹学生会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0372東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: murayama-michihiko@ed.tmu.ac.jp

²正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0372東京都八王子市南大沢1-1)

³東京都水道局 (〒163-8001東京都新宿区西新宿2-8-1)

1. はじめに

安全で良質な水道水を持続的に供給するためには、適切な浄水処理、配水システムにおける水質管理と共に、水道水源の水質保全を図ることが重要である。水道水源の水質は、降雨強度や降雨発生頻度等の気候や季節変動、人為的汚染によって大きく変化し、浄水処理等において問題を引き起こす可能性があり、低水温の河川水や流量減少等の河川環境の変化によっても、水質は著しく悪化するといわれている¹⁾。水道水源として貯水池や河川表流水を使用する場合、降雨時に流入する濁質が水道原水の水質悪化の原因となることが多い。水道原水の水質上昇は、浄水処理、特に凝集過程に大きな影響を与える。さらに、貯水池の湖底に堆積した濁質から高濃度の鉄やマンガンが溶出した場合、浄水の着色や金属臭防止のため、浄水処理の強化が必要となる。また、濁質と共に、高濃度の窒素やリンが流入することで、貯水池の富栄養化につながり^{2) 3)}、貯水池流域等に存在する面汚染源の状況により、降雨時に濁質と共に流入する汚濁成分に特性があることが知られている。

このため、本論文で対象とする小河内貯水池では、大雨後における貯水池内の高濁度化現象の要因や、濁質と栄養塩類との挙動について、調査および研究が行われてきており、高濁度の主因は沈降しにくい微細粒子であることが示されている³⁾。また、ダム下流の冷水対策のため、ダム放流水深を中層から表層に変更して以降、アオコの発生が頻発したため、アオコを効果的に抑制する方策を検討すると共に、その有効性を検証してきた⁴⁾。

これらの研究成果により、小河内貯水池における流域、そして貯水池内の水質環境は、ある程度明らかになって

きているが、小河内貯水池を含め全国の水道水源間の水質特性の総合評価による比較は殆ど行われておらず、水道水源としての小河内貯水池の水質が、他の水源と比べて良好なのかの位置づけも明確ではない。

そこで本研究では、全国の水道水源について水質特性を総合的に評価、比較を行うために、まず、小河内貯水池を対象として、複数の水質項目を用いて水質特性の総合評価方法を検討、提案することを目的とする。

2. 対象地域および使用データ

対象とする小河内貯水池は、多摩川最上流部に位置しており、東京都水道局が管理する水道専用ダムである。有効貯水容量1億8540万 m^3 の規模を有する小河内貯水池は、東京都民の水源として使用され、湖沼にかかわる環境基準の湖沼AA型に指定されており、基準値以下となるように維持するためには高度な水質管理が求められる貯水池である。貯水池では、アオコの発生を抑制するために、流入河川での分画フェンスや貯水池内での表層水移送装置の設置等の対策が行われている。

貯水池の流域面積は262.9 km^2 を有しており、主要流入河川は丹波川、小菅川、後山川の3河川で、流域面積全体の75%を占めている。丹波川と小菅川流域には、集落、養魚場や観光施設が点在している。一方、後山川は、流域の大部分が山地となっており、他の主要流入河川と比較すると、人為的汚染は殆どない。河川流域を含めた貯水池全体図を図-1に示す。

水道統計(日本水道協会、水質編)には、日本全国の浄水場の水道原水の水質が記載されている。さらに、水源種類としてダム直接、ダム放流、湖水、表流水、伏流水、

深井戸、浅井戸などが示されている。これらのデータのうち水源が1種類である浄水場のデータを抽出し、使用データとする。また、浄水場により測定頻度は様々であるため、年2回以上測定している浄水場を対象としてその年平均値を用いた。ここで、小河内貯水池の水質は水道統計に記載されていないため、今回、使用するデータは、2000年から2009年の小河内貯水池管理年報(東京都水道局)により記載された月ごとの放流水(堤体直下の水褥池)の水質データを平均した値を各年度の年平均値として使用した。放流水の測定項目は、溶存マンガン(以下、Mn)、過マンガン酸カリウム消費量、pH、濁度、水温、全窒素、アンモニア性窒素(以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$)、全リン、リン酸イオン、溶存酸素、酸素飽和百分率および電気伝導率の12項目である。この12項目の中から水道統計に記載されている水質項目の測定状況、各水質項目の表す水質に対する位置づけなどを検討して、①濁度、②全窒素、③全リン、④Mn、⑤ $\text{NH}_4\text{-N}$ の5項目を抽出して評価対象とした。ここで、各水質項目を説明すると、①濁度は水道原水の濁りの程度を示している。②全窒素や③全リンは富栄養化の影響因子であり、④Mnは浄水において着色や金属臭といった問題を引き起こすとされている。さらに、⑤ $\text{NH}_4\text{-N}$ は人為的汚染や有機汚染の間接的な指標である。以上のことから、抽出した5項目は水質を総合評価するのに適しているものと考えている。

3. 水質の年変動による総合評価(2000年～2009年)

対象水源の水質を、水質項目間で総合的に評価するためには、対象とする水質項目に共通の評価軸を設定することが必要である。共通の評価軸により、各項目間の傾向を視覚的に判断することが可能となり、総合評価が容易になる。評価軸を設定するに当たり、水道法による水質基準値や環境基本法で定められた環境基準値を用いることを検討したが、対象とする項目において基準値が設けられていないものが多いため使用できなかった。そこで、2009年の水道統計に記載されたデータの中から小河内貯水池の放流水質を評価するため、日本全国における水源がダム直接並びに湖水のデータ($n=156$)を用いて、水質項目ごとに最大値(Max)を抽出し、軸の上限值を“Max”とした。最小値(Min)は0.0とし、各軸のMaxを1.0に換算し、データの基準化を行った。表-1に、小河内貯水池放流水の測定値と、基準化した値を示す。全国のダム直接並びに湖水の年平均値についても示した。

表-1の基準化値をもとに、各水質項目の10年間の変動を直線回帰で表した。回帰直線の傾きから、経年変化の大小や水質が悪化しているか改善されてきているかを判断でき、切片の値から全国の水源水質との比較が容易となる。さらに、基準化したことにより、項目間の変動の大小を分散の数値で比較可能となる。

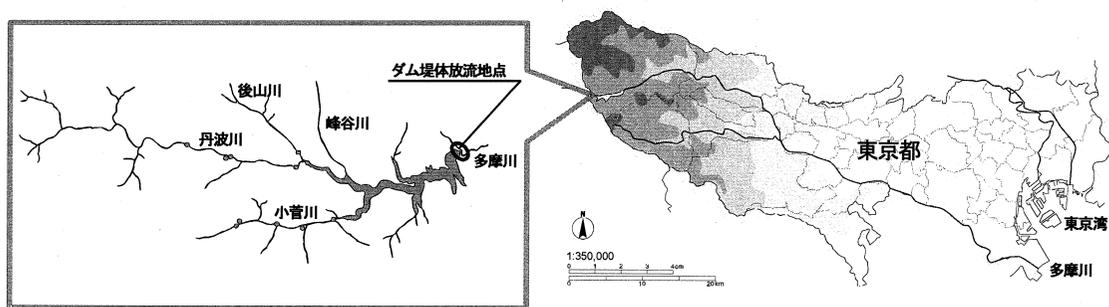


図-1 小河内貯水池全体図

表-1 小河内貯水池放流水の測定値と基準化値

測定項目	① 濁度 (度)		② Mn (mg/L)		③ $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)		④ 全窒素 (mg/L)		⑤ 全リン (mg/L)	
	測定値	基準化値	測定値	基準化値	測定値	基準化値	測定値	基準化値	測定値	基準化値
2000	1.240	0.039	0.018	0.071	0.026	0.129	0.433	0.140	0.006	0.033
2001	15.608	0.494	0.004	0.017	0.024	0.121	0.488	0.158	0.015	0.079
2002	2.558	0.081	0.002	0.007	0.018	0.088	0.493	0.159	0.008	0.043
2003	2.300	0.073	0.008	0.031	0.017	0.083	0.466	0.150	0.011	0.056
2004	2.950	0.093	0.002	0.009	0.008	0.042	0.473	0.153	0.010	0.050
2005	1.850	0.059	0.010	0.040	0.028	0.138	0.428	0.138	0.008	0.043
2006	1.500	0.047	0.011	0.043	0.008	0.038	0.455	0.147	0.006	0.033
2007	21.983	0.696	0.001	0.004	0.008	0.042	0.571	0.184	0.017	0.087
2008	2.883	0.091	0.001	0.004	0.004	0.021	0.503	0.162	0.010	0.051
2009	1.600	0.051	0.006	0.024	0.012	0.058	0.482	0.155	0.007	0.036
全国平均	4.793	0.152	0.044	0.175	0.036	0.178	0.698	0.225	0.037	0.193

表-2 小河内貯水池 10年間の基準化値の分析結果

測定項目	① 濁度	② Mn	③ NH ₄ -N	④ 全窒素	⑤ 全リン
回帰直線の傾き	1.494×10^{-3}	-2.785×10^{-3}	-9.747×10^{-3}	1.682×10^{-3}	-0.140×10^{-3}
回帰直線の切片	0.164	0.040	0.129	0.145	0.052
データの分散	4.694×10^{-2}	0.042×10^{-2}	0.160×10^{-2}	0.015×10^{-2}	0.032×10^{-2}

表-2に分析結果を示す。傾きの値から、対象とした10年間に於いて、濁度と全窒素は微増の傾向、その他の3項目はわずかながら減少傾向であることが示された。

最初に、濁度について述べる。濁度の分散値は他の4項目に比べかなり大きいことが明らかである。基準化値より、2001年、2007年を除いて、低濁度の放流水が貯水池より放流されているのに対して、2001年、2007年は、測定値が15.6度(2001年)、21.9度(2007年)で、高濁度となっていることが明らかとなった。これは、2007年においては、日降雨量482mmの規模を有する台風9号により、大量の濁質が貯水池に流入し、貯水池内に滞留し白濁状態が長期間継続したことが大きな要因と考えられる。同様に、2001年も9月に日降雨量347mmの規模の台風15号が、貯水に影響を及ぼしたと推察される。平常時は低い濁度が台風時には高くなり、その結果、濁度の分散値が他の項目よりも大きな値となり、他の水源の年変動と比較しても小河内貯水池の濁度の変動は大きく、台風等の大雨の影響を受ける水源であることが推察される。

つぎに、全リンの濃度変動では、濁度に比べ小さい変動であるが、濁度と同じ2001年と2007年に濃度が上昇している。このことから、小河内貯水池では、流域から貯水池へ流入する濁度を構成する濁質成分が、リンと挙動を共にする傾向にあることがいえる。また、表-2に示した回帰直線の傾きが示すように、全窒素は微増の傾向にある。一方、全リンについては、他の4項目と比較すると、傾きが小さくほぼ横ばいで推移しているといえるが、小河内貯水池での藻類発生は、リン制御とされているため、リンが増加傾向とならなかったことは、アオコの発生対策としても重要である。

つづいて、人為汚染が発生源の一つとされているNH₄-Nと浄水において問題を引き起こすとされるMnについて述べる。NH₄-Nは、回帰直線の傾きより減少傾向にあることが確認できる。すなわち、小河内貯水池では、近年、流域の水質保全対策が実施されており、環境整備の効果が表れたことによるものと考えられる。Mnも同様に、減少傾向であることが示されたが、減少の影響要因は明らかではない。さらに、濁度を除く4項目において、基準化値 1.0 に対して、小河内貯水池の基準化値や切片は2009年度の全国平均値よりも低い値で推移していることから、全国の水道水源の中でも、良好な水道水源であることが推察される。

以上の結果より、小河内貯水池は、濁度の変動が大き

く、気象現象の影響を受けやすい水源であるが、全国のダム直接並びに湖沼の中で、小河内貯水池の放流水質の総合的な水質評価結果は、水道水源として高度な水質管理が行われている水源であることを示している。

4. おわりに

本論文では、東京都水道局が管理する小河内貯水池の水質特性を、総合的に評価、検討することできた。

以下に、主要な結果を示す。

- (1) 小河内貯水池では、普段は低い濁度が台風などの大雨時には上昇するため、濁度変動が大きく、気候の変動を受ける水源であることが示された。
- (2) 貯水池に流入するリンについては、濁度と類似した変動を示したことから、濁質と挙動を共にし易い傾向にあることが考えられる。
- (3) NH₄-NやMnは減少傾向にあることから、貯水池流域等の環境整備が効果を発揮したと考えられる。
- (4) 小河内貯水池において、濁度を除く4項目は、全国の水道水源と比べ、極めて良好な水質であることが示された。

なお、今回の分析で用いた5項目を正五角形の各軸に割当て、レーダーチャートによる総合評価を行うことも可能である。今後は、同様な評価方法を用いて、全国の水道水源と小河内貯水池の水質特性を比較検討し、全国の中で位置づけを明確化する予定である。

参考文献

- 1) 滝沢智, 小熊久美子, 伊藤くみ, 村上道夫: 地球温暖化に伴う水道水源水質の変化の推定方法に関する検討, 第43回日本水環境学会年会講演集, p.12, 2009.
- 2) 新山雅紀, 柘植将之, 横山勝英, 小泉明, 山崎公子, 増子敦, 小林康浩: 成層貯水池における取水流れに関する調査研究, 水工学論文集, 第54巻, pp.1411-1416, 2010.
- 3) 山崎公子, 村山道彦, 小泉明, 横山勝英, 青木秀幸, 岩本智江: 小河内貯水池における大雨時流入濁質による高濁度化現象の要因分析, 土木学会論文集G(環境), Vol.68, No.7, pp.III_259-III268, 2012.
- 4) 北澤弘美, 北田真吾, 斎藤滋, 佐藤親房, 小泉明: 小河内貯水池におけるアオコ発生抑制対策とその効果, 水道協会雑誌第77巻, 第9号(第888号), pp.10-24, 2008.