

## B-37 マンガンに着目した 水道水源貯水池の特性分析

○細谷 奨<sup>1\*</sup>・山崎 公子<sup>2</sup>・稲員 とよの<sup>2</sup>・小泉 明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

<sup>2</sup>正会員 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

<sup>3</sup>フェロー会員 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

\* E-mail: hosoya-susumu@ed.tmu.ac.jp

### 1. はじめに

我が国における多くの貯水池で発生している問題として、富栄養化による藻類の異常発生、底質からの鉄・マンガン等の溶出がある。富栄養化による藻類の異常発生ではカビ臭の原因物質が問題となり、一方、マンガンや鉄は水道水の「黒水」「赤水」や金気臭の原因となる<sup>1)</sup>。藻類発生は目視や臭気である程度把握できるのに対し、底泥から溶出した鉄・マンガンを高濃度で含む貯水が湖底に滞留している状態は把握しにくく、さらに、循環期に放流水のマンガン濃度に影響を与えるかを判断するには人手と高価な機材を必要とする。

そこで本稿では、貯水池のマンガンに着目し、マンガン濃度の影響要因を統計解析により求め、マンガン濃度が高濃度になりやすいか否かの判別関数式を構築することによって、マンガンの動向を把握することを試みる。

### 2. 使用データ

分析に使用するデータは平成21年度水道統計水質編に記載されている水道原水水質のデータを用いる<sup>2)</sup>。水質項目は88項目記載されている。また、全国の浄水場(6010ヶ所)の水源データはダム直接、湖水、ダム放流、表流水、伏流水、湧水、深井戸、浅井戸、原水受水、浄水受水の10種類であり、貯水池の水質として使用できる「ダム直接」のデータを今回は用いる。また、複数の水源種類を用いている浄水場もあるため、全国浄水場の原水水質データの中で原水種類が「ダム直接」1種類だけである浄水場を抽出し、162ヶ所の浄水場のデータを得た。ここで、浄水場では原水について全88水質項目を測定しているとは限らない。さらに、測定回数が年1回の項目もある。そこで、季節による水質の変動を考慮し、測定回数が年2回以上の項目を用い、その平均値を浄水場の値とする。また、水質項目以外の要因として流域面

積(km<sup>2</sup>)、有効貯水量(千m<sup>3</sup>)、標高(m)、平均水深(m)の4項目を貯水池の物理的要因を表すデータとして加える。

まず、相関分析により項目の選択を行う。項目間の相関をとると、項目間で共通しているサンプル数は項目ごとのサンプル数よりも少なくなる場合が生じる。以後の分析に用いるサンプル数が少なくならないように、相関係数算定のサンプル数が35以上となる項目を対象とした結果、項目数は40項目となった。

つぎに、残った項目間において相関係数が高い項目がある場合、今後の分析に影響を与えることが考えられる。そこで、項目間の相関係数が0.90以上であり、内部相関が高いと考えられる場合については、マンガンとの相関係数が低い方を除外することとした。これらの過程で全窒素と全リンは除外されたが、富栄養化により藻類が増殖すると多くの藻類の遺骸が湖底部に沈殿し分解する際に酸素を消費し底層部の貧酸素化を招く<sup>3)</sup>ことから、富栄養化の要因とされる全窒素と全リンを加えた。最終的に、32項目を分析に使用する。

### 3. マンガン影響要因の抽出

ここでは、2で選択したマンガン及び貯水池の規模を表す要因を除く27水質項目に対して、貯水池マンガン濃度の高低を判別する判別関数作成を容易とするために、10項目までの絞り込みを行う。項目の選択には主成分分析を用いる。主成分分析とは変数相互の関係から新しい概念の主成分軸を導き、この軸をもとに変数やサンプルの類似性や位置づけを行う手法である<sup>4)</sup>。

まず、162サンプルの中でマンガンを含む28水質項目がすべて揃っているサンプル数は33であった。

33サンプルのデータ(27項目)を用いて主成分分析を行った結果を表-1に示す。第3主成分までの累積寄与率が52.3%と低く、得られた主成分軸の解釈が難しい結果と

なった。そこで、第1主成分と第2主成分の絶対値がともに0.4以下の項目を除き、14項目で主成分分析を行う。サンプル数は42である。第3主成分までの累積寄与率は73.7%となり70%を超え、マンガン濃度との相関係数も第1主成分が0.417、第2主成分が0.080、第3主成分が0.162となり、第1主成分はマンガン濃度と統計的に有意な関係となった。しかし、因子負荷量はすべての項目で第1主成分が正となり偏りが見られた。水質項目を14項目まで絞り込むことが出来たので、ここで貯水池の規模を表す4項目を追加する。さらに、先ほどと同様に第1主成分と第2主成分の絶対値がともに0.4以下の項目を除いた13項目中に無機物が6項目と多く選択されているため、6項目の中でマンガンの相関係数が小さい3項目を除外した。分析に用いたサンプル数は30である。主成分分析の結果、新たに加えた4項目は第1主成分の因子負荷量がすべて負となり、第3主成分までの累積寄与率は74.0%となった。しかし、マンガン濃度との相関係数は第1主成分が0.247、第2主成分が0.183、第3主成分が-0.170で、マンガン濃度と統計的に有意な関係を持つ主成分軸は得られなかった。項目数も14項目と多く、各主成分の意味付けを明確にするために、さらに10項目まで絞り込む。

まず、蒸発残留物、色度、濁度は水の濁りや外観に影響する項目である。蒸発残留物は他の2項目に比べサンプル数は23と少ないことから除外し、残りの2項目のどちらか1項目を選択する。なお、全窒素と全りんはサンプル数は多くないが、データ作成時の選択理由により除外しない。残りの鉄、塩化物イオン、全有機炭素、水温、pHの5項目の中から分析結果の汎用性を考慮して、サン

表-1 累積寄与率と因子負荷量

| 累積寄与率 |                                    | 第1主成分  | 第2主成分  | 第3主成分  |
|-------|------------------------------------|--------|--------|--------|
|       |                                    | 0.269  | 0.412  | 0.523  |
| 水質項目名 |                                    | 因子負荷量  |        |        |
|       |                                    | 第1主成分  | 第2主成分  | 第3主成分  |
| 1     | 一般細菌                               | 0.401  | 0.220  | -0.047 |
| 2     | ジェオスミン                             | 0.508  | 0.345  | 0.039  |
| 3     | 2-メチルイソボルネオール                      | 0.187  | 0.182  | 0.184  |
| 4     | シアニ化物イオン及び塩化シアニ                    | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 5     | フッ素及びその化合物                         | 0.126  | -0.741 | 0.171  |
| 6     | アルミニウム及びその化合物                      | 0.370  | -0.833 | 0.121  |
| 7     | 鉄及びその化合物                           | 0.602  | -0.671 | 0.148  |
| 8     | 銅及びその化合物                           | -0.054 | 0.016  | 0.663  |
| 9     | 塩化物イオン                             | 0.769  | 0.227  | -0.140 |
| 10    | 四塩化炭素                              | -0.081 | 0.016  | 0.518  |
| 11    | 1,4-ジオキサン                          | 0.241  | 0.126  | 0.182  |
| 12    | シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン | 0.071  | 0.159  | 0.778  |
| 13    | トリクロロエチレン                          | 0.188  | 0.463  | 0.726  |
| 14    | ベンゼン                               | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 15    | フェノール類                             | -0.044 | 0.046  | 0.502  |
| 16    | カルシウム、マグネシウム等(硬度)                  | 0.866  | 0.138  | -0.077 |
| 17    | 陰イオン界面活性剤                          | -0.244 | 0.057  | 0.456  |
| 18    | 非イオン界面活性剤                          | 0.136  | 0.453  | -0.291 |
| 19    | 有機物(TOCの量)                         | 0.822  | -0.054 | -0.160 |
| 20    | pH値                                | 0.653  | 0.340  | -0.029 |
| 21    | 臭気                                 | 0.316  | 0.421  | 0.135  |
| 22    | 水温(℃)                              | 0.618  | 0.388  | 0.116  |
| 23    | 蒸発残留物                              | 0.918  | 0.053  | -0.051 |
| 24    | 色度                                 | 0.614  | -0.178 | 0.235  |
| 25    | 濁度                                 | 0.483  | -0.802 | 0.229  |
| 26    | 全窒素                                | 0.785  | 0.049  | 0.076  |
| 27    | 全りん                                | 0.766  | -0.127 | -0.303 |

プル数が多い全有機炭素、水温、pHの3項目選択し、最終的に色度を用いたケースと濁度を用いたケースで、それぞれ10項目として主成分分析を行う。さらに、分析結果の因子負荷量散布図から項目をグルーピングし、5個以下の項目を抽出する。

以上のプロセスを経た結果、分析に用いたサンプル数は31となった。色度を用いたケースでは、因子負荷量のグルーピングが困難であったため、濁度を用いたケースを選択する。主成分分析の結果、第3主成分までの累積寄与率は73.9%であった。各主成分とマンガン濃度の相関係数は、第1主成分が0.319、第2主成分が0.267、第3主成分が-0.291となり、第1主成分は統計的に有意な相関関係となった。分析結果の因子負荷量散布図を図-1に示す。項目の分類を行い、5つのグループとした。各グループの意味づけをおこなうと、グループAは濁質の状況を表す群、グループBは有機汚染の状況を表し、グループCは水質の基礎項目の群である。グループDは貯水池の規模、グループEは貯水池の水深に関係のある群といえる。

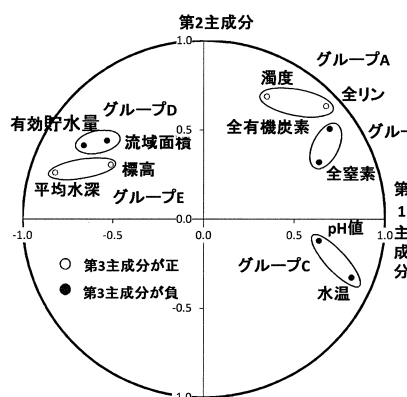


図-1 因子負荷量散布図

#### 4. 貯水池マンガン濃度の判別関数の構築

ここでは、3.の主成分分析で絞り込まれた項目を参考に、貯水池マンガン濃度の高低を判別関数を求めるため、目的変数をマンガン濃度の高低とした判別分析を行う。

最初に、判別関数に用いるマンガン影響要因となる項目は、3.の主成分分析の結果、影響要因の候補となる項目の因子負荷量が5グループに分類できた。この5グループから1項目ずつ選択し、5項目による判別分析を行う<sup>9)</sup>。まず、グループAおよびグループBでは、それぞれ全りんおよび全窒素を測定している浄水場が少なく、今後汎用性を検討していく際に、困難が生じることが予想されるため、グループAは濁度、グループBでは全有機炭素を選択し分析を行うこととする。グループCのpH値と水温、グループDの流域面積と有効貯水量は、マンガンと統計的に有意な関係にある第1主成分の因子負荷量の絶

対値の差が小さく、組合せで判別分析を行い的中率により選択することとした。グループ Eは第1主成分の因子負荷量の絶対値を比較し値が大きい平均水深を選択した。

表-2 使用項目の平均値及び標準偏差値

| 項目名  | TOC<br>mg/L | pH   | 水温<br>℃ | 濁度<br>度 | 流域面積<br>km <sup>2</sup> | 有効貯水量<br>千m <sup>3</sup> | 平均水深<br>m |
|------|-------------|------|---------|---------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| 平均   | 1.63        | 7.35 | 13.77   | 7.13    | 58.25                   | 21219.84                 | 14.24     |
| 標準偏差 | 1.07        | 0.36 | 3.32    | 7.71    | 73.37                   | 37196.38                 | 7.10      |

最終的に選択された主成分分析に用いた31サンプルをマンガン濃度の低い順に並び替え、マンガン濃度が低濃度、中濃度、高濃度の3つの群に分ける。マンガン濃度が0.029mg/L以下のサンプルを低濃度の群、0.051mg/L以上のサンプルを高濃度の群とする。

分析に用いる項目は、全有機炭素、濁度、平均水深の3項目に水温またはpH値、有効貯水量または流域面積の2項目を加え、5項目で判別分析を行った。各項目の値は、表-2に示す31サンプルの平均値および標準偏差を用い基準化し、判別関数算出に用いる。判別分析の結果、選択された項目は全有機炭素、水温、濁度、流域面積、平均水深の5項目で、得られた判別関数は、87.0%と高い判別的中率となった。得られた判別関数を(1)式に示す。判別分析に用いた5項目の基準値と判別結果を表-3に示す。

$$Z = -0.468 + 11.141w_1 - 6.680w_2 - 8.529w_3 - 4.487w_4 - 0.734w_5 \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $w_1$ : TOC、 $w_2$ : 水温、 $w_3$ : 濁度、  
 $w_4$ : 流域面積、 $w_5$ : 平均水深

(1)式に含まれる5要因を欠測なく測定しているサンプルは、60ヶ所と分析に用いたサンプルよりも多い。そこで、分析に用いていない29ヶ所のサンプルに対して判

別関数の精度を検証する。的中率は65.5%となり得られた判別関数は、6割5分以上の確率で貯水のマンガン濃度が高い貯水池を判別できることが示された。

## 5. おわりに

本論文では、貯水池のマンガン濃度が高いか否かを判別する関数を構築した結果、87.0%と高い的中率が得られた。また、作成した判別関数の検証を行った結果は65.5%という的中率であった。この結果、本論文で構築した判別関数を新たな貯水池に適用し、マンガン高濃度群に判別されればマンガン対策を導入する必要性が高い貯水池であると推察され、今後の検討を前もって行うことが可能となる。

## 参考文献

- 1) 高井雄・中西弘：用水の除鉄・除マンガン処理，pp.10-21，産業用水調査会，1987
- 2) 日本水道協会：平成 21 年度版 水道統計 水質編，2010
- 3) 合田健・海老瀬潜一・大島高志：ダム貯水池の水質変化と富栄養化，土木学会論文報告集，第260号，pp.59-73，1977
- 4) SAS出版局：SAS/STATソフトウェアユーザーズガイド，Ver.6，pp.787-807，1995
- 5) 小泉明・小田原康介・谷川昇・及川智：都市ごみの排出実態と減量化意識に関する数量化分析，廃棄物学会論文誌，Vol.12，No.1，pp.17-25，2001

表-3 基準化値と判別分析結果

| Mn<br>濃度 | 順位  | 番号            | 水源名               | Mn<br>[mg/L] | 基準化値          |           |           |                            |             | 判別<br>得点 | 判別<br>の中 |
|----------|-----|---------------|-------------------|--------------|---------------|-----------|-----------|----------------------------|-------------|----------|----------|
|          |     |               |                   |              | TOC<br>[mg/L] | 水温<br>[℃] | 濁度<br>[度] | 流域面積<br>[km <sup>2</sup> ] | 平均水深<br>[m] |          |          |
| 低        | 1位  | 2             | 幾春別川(桂沢ダム)        | 0.014        | 0.068         | -1.534    | 0.877     | 1.246                      | 1.815       | -3.867   | ○        |
|          | 2位  | 5             | 阿武隈川水系白石川(七ヶ宿ダム)  | 0.015        | -0.666        | -0.763    | -0.641    | 2.391                      | 1.390       | -9.065   | ○        |
|          | 3位  | 6             | 田沢川ダム             | 0.021        | -0.482        | -0.763    | -0.463    | -0.470                     | 1.154       | 4.465    | ×        |
|          | 4位  | 21            | 柿崎川水系柿崎川(柿崎川ダム)   | 0.022        | -0.390        | 0.630     | -0.373    | -0.613                     | -0.517      | -2.713   | ○        |
|          | 4位  | 24            | 木曾川水系牧田川(中里ダム)    | 0.022        | -0.574        | 0.571     | -0.731    | -0.727                     | -0.268      | -0.985   | ○        |
|          | 6位  | 12            | 樺川ダム(那珂川)         | 0.023        | -0.390        | 0.868     | -0.463    | -0.777                     | -0.636      | -2.715   | ○        |
|          | 7位  | 30            | 郡川水系郡川(菅瀬ダム)      | 0.025        | -0.757        | 0.512     | -0.680    | -0.528                     | 0.251       | -4.345   | ○        |
|          | 8位  | 4             | 釜房ダム貯留水           | 0.026        | -0.207        | -0.437    | -0.463    | 1.838                      | -0.577      | -3.730   | ○        |
|          | 8位  | 31            | 神浦川水系神浦川他(神浦ダム)   | 0.026        | -0.757        | 0.956     | -0.705    | -0.560                     | 0.149       | -6.879   | ○        |
|          | 10位 | 7             | 阿武隈川水系大滝根川等(三春ダム) | 0.029        | 0.251         | -0.111    | -0.501    | 2.255                      | -0.253      | -2.583   | ○        |
| 10位      | 22  | 和田川ダム         | 0.029             | -0.757       | -0.674        | 0.328     | -0.325    | -1.316                     | -4.777      | ○        |          |
| 10位      | 27  | 遠賀川水系八木山川力丸ダム | 0.029             | -0.299       | 1.075         | 0.112     | -0.324    | 0.219                      | -10.638     | ○        |          |
| 高        | 21位 | 18            | 房総導水路(大多喜ダム)      | 0.051        | 0.618         | 1.134     | -0.029    | -0.733                     | -0.893      | 3.031    | ○        |
|          | 22位 | 16            | 平久里川水系増間川(増間ダム)   | 0.055        | 2.452         | 0.779     | 2.179     | -0.752                     | -0.691      | 6.950    | ○        |
|          | 23位 | 3             | 岩木川水系浅瀬石川(浅瀬石川ダム) | 0.056        | -0.482        | -1.771    | -0.501    | 1.808                      | 0.741       | 1.608    | ○        |
|          | 24位 | 1             | 新中野貯水池            | 0.057        | -0.941        | -1.534    | -0.743    | -0.546                     | 0.260       | 7.900    | ○        |
|          | 25位 | 20            | 関川水系正善寺川(正善寺ダム)   | 0.060        | -0.207        | 0.690     | -0.258    | -0.697                     | -0.390      | -1.766   | ×        |
|          | 26位 | 13            | 養老川水系高滝ダム         | 0.064        | 1.352         | 0.897     | 0.367     | 0.655                      | -1.103      | 3.344    | ○        |
|          | 27位 | 9             | 阿賀野川水系神切川(日中ダム)   | 0.074        | -0.941        | -0.674    | -0.590    | -0.237                     | 2.079       | -1.875   | ×        |
|          | 28位 | 26            | 千疋貯水池             | 0.075        | 0.435         | -0.022    | -0.616    | 0.486                      | -0.537      | 7.988    | ○        |
|          | 29位 | 8             | 阿武隈川水系北須川(千五沢ダム)  | 0.082        | 0.251         | -0.704    | 0.086     | 0.707                      | -0.333      | 3.373    | ○        |
|          | 30位 | 19            | 前川水系前川(川内ダム)      | 0.084        | -1.032        | -0.526    | -0.552    | -0.713                     | -1.056      | 0.224    | ○        |
|          | 31位 | 15            | 三原川水系三原川小向ダム      | 0.089        | 2.911         | 0.363     | 2.791     | -0.630                     | -0.934      | 9.240    | ○        |