

## 多変量解析法による貯水池水質の評価

THE EVALUATION OF WATER QUALITY IN RESERVOIRS  
BY THE MULTIVARIATE ANALYSIS.

海老瀬 潜一\*・勝部 利之\*\*

By Senichi EBISE and Toshiyuki KATSUBE

## 1. 緒 言

貯水池水質は、表流水を長期間貯留するという性格や貯水池固有の流入・流出特性に従って、水深方向および流下方向に分布を有し、その水質分布の時間変化に特色がある。著者らはこの貯水池水質変化特性について、貯水池貯留水および流入・流出水の水質変化を濃度変化や負荷量変化として時系列解析や物質収支式によって、その経年変化や周年変化の特性を明らかにするとともに<sup>1),2)</sup>、植物プランクトン変化のシミュレーション解析<sup>3)</sup>を行い、貯水池の富栄養化や水質汚濁化の傾向を指摘している。一般に、貯水池の水深および流下の両方向についての定期水質観測データが蓄積されている場合は少なく、貯留水水質の平均値や代表値といったものも、その測定頻度や測定点密度など定義が不明確であるほか、適切なものとはいえない場合も多い。また、各種水質因子にはその変化や分布特性が類似するものもあれば相違するものもあり、測定水質因子の選択は注目する現象ともからんで重要な問題である。

このようにダム貯水池の水質変化現象は、水質汚濁や富栄養化など物理的、化学的および生物学的に多様な多面的な性質を有しており、この対象から得られる多変量のデータの的確な評価に利用しうる統計的手法が多変量解析法である。各水質変量は互いに相関を有する場合も多いので、この水質変量相互の相関関係を考慮に入れて、主成分分析法および重回帰分析法を中心に水質の総合評価を試みることになる。したがって、総合的な水質評価のための構成水質因子の妥当性やウエイトの問題、水質汚濁や富栄養化の程度の判定材料としての定量的な総合指標設定の問題、および環境影響評価や因果関係の究明への多変量解析法導入の有効性などに留意して解析

を進めた。また、多変量解析法の適用は水質観測精度とも関連するため、総合的な水質評価による空間的かつ時間的な状態変化の把握には、測定頻度や測定密度など測定データの数や精度との対応を考慮している。したがって、貯留水だけでなく流入河川水を含めた貯水池の水利用や水環境に対する多変量解析法による水質の総合評価の試みは、水質汚濁や富栄養化の現況や傾向の多水質因子による総合評価に基づいた制御など貯水池集水域の水質管理に有効な手法と考えられる。

## 2. 貯水池水質解析への多変量解析法の適用

研究対象としては、兵庫県武庫川水系の千苺貯水池とその流入河川を中心に、著者らの 1973～1976 年の貯留水および 2 流入河川水の調査と神戸市水道局の定期水質試験の結果<sup>4)</sup>を用いて多変量解析を行った。具体的な解析としては、1 年を周期とする水質分布の周年変化特性を 1969 年の例で明らかにし、貯留水の夏季成層期と冬季一様期の各層別水質分布特性の相違を経年変化を含めて検討するとともに、千苺貯水池と鳥原・布引の 2 貯水池との水質特性の比較、および 2 流入河川水と貯留水の水質変化の対応関係を検討した。

神戸市の水道専用水源池である千苺貯水池は、図-1 に示すように流入河川が貯水池上流で合流し、堰堤の流出端に向かって水深が漸増し、全体に細長い比較的单純な形状を有している。貯水池の規模や諸元は、有効貯水量 11 612 500 m<sup>3</sup>、最大水深約 33 m、背水延長約 7 km、集水面積 94.5 km<sup>2</sup> で、流出は堰堤中央部の多段取水塔の中層からのほぼ定量的取水のほか、増水時には越流放流される。

千苺貯水池は、図-2 の水温鉛直分布の周年変化から明らかなように、夏季成層期には中層取水の影響もあって、水深 5 m 付近に比較的不安定な表層躍層と、水深 15 m 前後に安定で強力な主躍層が存在し、この 2 躍層

\* 正会員 工博 京都大学助手 工学部衛生工学科

\*\* 工修 日本国土開発(株)



図-1 千苅貯水池の概要図

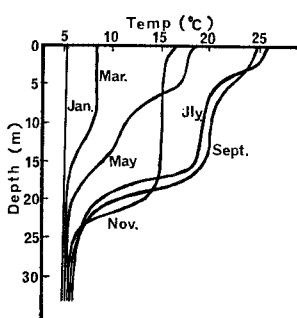


図-2 水温鉛直分布 (千苅貯水池, C地点, 1974年)

の出現水深の上下で水質的にも顕著な変化が見られるため、この2躍層などを境界にして水深方向にいくつかの層分割ができる。まず、この躍層の数と強度や各種水質の鉛直分布の周年変化パターンによる水質変化の季節区分は、7・8・9月の2躍層の夏季成層期のほか、10・11月の躍層消滅への移行期、12・1・2月の冬季一様期、3・4月の躍層形成への移行期、5・6月の1躍層の成層期とする。次に、水深方向の層分割は、成層期を中心とした1か月間隔で流下方向4地点の水深1mごとの水温測定値をもとに、温度傾度を参考にして一定強度以上の温度躍層について、その時間的および流下方向の変化や水位変化も考慮して、貯留水全体の平均的な躍層出現水深を基準とした。さらに、水深2~3m間隔の定期水質観測の測定水深から、1年の周期を通じたデータの分類は、水深0・1・3mの表層、8・10・13mの中層、18・20・23mの下層、25・28・30・33mの底層とする。

一般に、水表面から表層躍層までの表層は、光量の関

係から植物プランクトンの光合成作用と再曝気作用との関連が重要であり、深水層の底面付近の底層は沈殿・堆積作用や溶存酸素の枯渇と底泥からの栄養塩・金属類の溶出が問題となる。また、表層躍層と主躍層には含まれる中層は、中層取水による流動と流入水主流部の流下径路の関係から注目される。

多変量としての水質因子の数と項目の選択は、多変量解析法で得られる結論が用いた変数の組に依存する<sup>5)</sup>ためきわめて重要となる。ダム貯水池に関しては、14の測定水質項目のうち、水質汚濁や富栄養化現象との関係の重要性や水質項目相互間の相関関係を考慮して、pH、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub>消費量、アルカリ度、DO飽和度の6水質項目を選んだ。これらはいずれも慣用的な重要水質項目であるが、富栄養化現象との関連ではPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Pの追加も必要と考えられる。また、河川水への適用の場合は、人為的な影響でもなければ変動の小さいpHの削除などが考えられる。これら水質因子によっては測定単位が異なるため、主成分分析では、分散1、平均値0への基準化した変数の相関係数行列より主成分の固有値を求めている。特にこの解析では、*m*個までの主成分の累積寄与率が60~80%以上で、第*m*主成分の寄与率が平均以上(すなわち、固有値  $\lambda_m \geq 1.0$ )、かつ *m*個の主成分の各変数に対する寄与率がどの変数に対しても50%以上になるような基準を設定した。

### 3. 全層1年間の解析

貯水池流下方向3地点(A, B, C)の1969年度毎月観測値をもとに、主成分分析を中心として、1年を周期とする水質変化における夏季成層期や冬季一様期など各季節・各層の相対的な位置づけと流下方向3地点の水質変化特性を明らかにする。1年間の平均水質値を表層躍層出現水深(5m)、主躍層出現水深(15m)を含む全層について、表-1に示す。平均値の相違と標準偏差に基づく変動範囲な

表-1 1年間の平均水質値 (全地点, 全層, 1969年度)

|                                 | Mean  | Standard Deviation |
|---------------------------------|-------|--------------------|
| pH                              | 6.9   | 0.67               |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | 0.256 | 0.12               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.130 | 0.40               |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 6.02  | 3.84               |
| DO sat.                         | 72.1  | 36.2               |
| Alkalinity                      | 17.7  | 8.34               |

表-2 1年間全層の水質因子間相関 (全地点 (1969年度))

|                                 | pH    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | KMnO <sub>4</sub> Consumed | DO sat. | Alkalinity |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------------|
| pH                              | 1.000 | -0.514                          | -0.096                          | 0.073                      | 0.594   | -0.207     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |       | 1.000                           | -0.202                          | -0.387                     | -0.271  | -0.312     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N |       |                                 | 1.000                           | 0.804                      | -0.392  | 0.768      |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      |       |                                 |                                 | 1.000                      | -0.203  | 0.774      |
| DO sat.                         |       |                                 |                                 |                            | 1.000   | -0.488     |
| Alkalinity                      |       |                                 |                                 |                            |         | 1.000      |

表-3 1年間全層の主成分分析結果 (全地点と各地点 (1969 年度))

| Z <sub>i</sub>                  | A 11           |                | A              |                | B              |                | C              |                |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> |
| pH                              | -0.120         | -0.624         | 0.517          | 0.137          | -0.549         | -0.108         | -0.106         | -0.648         |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.174         | 0.571          | -0.251         | -0.651         | 0.365          | 0.487          | -0.210         | 0.567          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.533          | -0.039         | -0.483         | 0.244          | 0.316          | -0.485         | 0.512          | -0.059         |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 0.516          | -0.211         | 0.233          | 0.424          | -0.200         | -0.531         | 0.521          | -0.158         |
| DO sat.                         | -0.320         | -0.489         | 0.583          | -0.179         | -0.579         | 0.080          | -0.340         | -0.479         |
| Alkalinity                      | 0.551          | -0.004         | -0.207         | 0.535          | 0.300          | -0.477         | 0.544          | -0.001         |
| λ                               | 2.896          | 1.953          | 2.496          | 1.670          | 2.349          | 2.314          | 3.140          | 1.863          |
| Cumulative Contribution         | 48%            | 81%            | 42%            | 69%            | 42%            | 78%            | 52%            | 83%            |

どから、各層の水質分布特性が明らかとなる。また、1年間3地点全層のサンプルについて、水質因子相互間の相関は、表-2 から NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N と KMnO<sub>4</sub> 消費量、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N とアルカリ度、KMnO<sub>4</sub> 消費量とアルカリ度が水質汚濁との関連で高く、pH と DO 飽和度が光合成活動との関連のため高いことがわかる。さらに、各季節・各層についての相関の程度は、後述のそれぞれのグループに対する 4. の解析でより明確なものとなる。

主成分分析結果は、表-3 のように第1主成分 Z<sub>1</sub> が寄与率 48% と大きく、その内容としての各因子負荷量ではアルカリ度、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub> 消費量が正で大きく、ほかは小さい。したがって、Z<sub>1</sub> を各月・各地点・各水深での総合的な汚濁の程度を示す主成分と考えることができる。表-4 に、年間平均、夏季および冬季の代表月として8月、2月の各地点・各層の Z<sub>1</sub> 得点を示す。この表から、Z<sub>1</sub> による各季節の流下方向・水深方向の相対的な汚濁度の相違を見ることができる。年間平均では水深が増すと Z<sub>1</sub> 得点が増大し、総合的な汚濁度は増すことがわかる。8月は温度成層が顕著なため、層別の Z<sub>1</sub> 得点の差違が明らかとなり、地点別の相違も大きいことがわかる。特に底層では、水体と底泥間の物質移動などの影響が考えられ、流下方向には見かけ上の浄化作用によって Z<sub>1</sub> 得点が小さくなる。2月は循環による水質分布の一樣化に伴って Z<sub>1</sub> 得点も一樣化するが、これは相対的には底層の水質改善、表層の水質悪化によると思われる。

A, B, C 3 地点全部と各地点ごとの主成分分析結果から、6 水質因子の固有ベクトルを 図-3 のように正六角

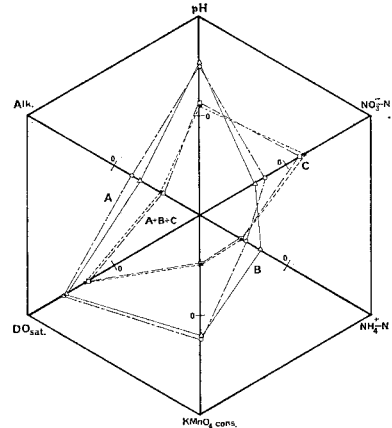


図-3 流下方向3地点の固有ベクトル変化 (1969 年度)

形の中心を通る対角線上にプロットした。正六角形の各頂点と中心を結ぶ線分上の中点から中心方向に負、頂点方向に正をとっている。この図より3地点の水質分布の相対的な関係は、A, B 両地点がほぼ同様のパターンにあり、C地点が他の2地点と異なって3地点全体のパターンに近い。また、内容的には、流下方向のアルカリ度と KMnO<sub>4</sub> 消費量の因子負荷量の減少が Z<sub>1</sub> 得点の減少をもたらし、C地点では NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub> 消費量、アルカリ度の Z<sub>1</sub> 得点への寄与が増大し、pH と DO 飽和度の Z<sub>1</sub> 得点への寄与が減少する。これらから各地点の水質の相対的な変化の度合いを確認できる。このように年間平均、8月、2月の Z<sub>1</sub> 得点と各種水質の分布状態のチェックから、Z<sub>1</sub> 得点による貯水池の総合的にかつ相対的な汚濁度の評価が可能となるほか、各地点、各層の1年サイクルの水質周年変化における各季節の相対的な変動の位置づけが可能である。なお、ここでは Z<sub>2</sub> 以降の主成分は寄与率も低く、それぞれの有する性格も明確さを欠くために、その説明は省略する。

4. 夏季成層期と冬季一樣期の解析

3. の解析からも明らかのように、貯水池水質変化特性の相違が顕著な7・8・9月の夏季成層期と12・1・2

表-4 各地点・各層の Z<sub>1</sub> 得点 (1969 年度)

| Depth                  | Pt.  | Annual (Mean) |        |        | August (Mean) |        |        | February (Mean) |        |        |
|------------------------|------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|                        |      | A             | B      | C      | A             | B      | C      | A               | B      | C      |
| 0 m, 1 m, 3 m          |      | -0.453        | -0.498 | -0.419 | -0.775        | -1.116 | -1.168 | -0.608          | -0.375 | -0.446 |
|                        | 5 m  | -0.294        | -0.385 | -0.355 | 0.055         | -0.962 | -0.863 | -0.615          | -0.403 | -0.497 |
| 8 m, 10 m, 13 m        |      | -0.211        | -0.314 | -0.278 | 0.448         | -0.556 | -0.679 | -0.548          | -0.409 | -0.459 |
|                        | 15 m | 0.005         | -0.327 | -0.396 | 1.752         | -0.641 | -0.750 | —               | -0.429 | -0.399 |
| 18 m, 20 m, 23 m       |      | —             | 0.002  | -0.116 | —             | 0.109  | -0.606 | —               | -0.370 | -0.284 |
| 25 m, 28 m, 30 m, 33 m |      | —             | 0.535  | 3.024  | —             | 1.482  | 2.540  | —               | —      | 0.083  |

表一5 夏季成層期 (J, A, S,) 冬季一様期 (D, J, F,) の平均水質値 (1968~1975 年)

|                                       |          | Surface Layer |                    | Middle Layer |                    | Under Layer |                    | Bottom Layer |                    |
|---------------------------------------|----------|---------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|--------------------|
|                                       |          | Mean          | Standard Deviation | Mean         | Standard Deviation | Mean        | Standard Deviation | Mean         | Standard Deviation |
| pH                                    | J, A, S, | 8.2           | 0.9                | 6.5          | 0.2                | 6.4         | 0.2                | 6.6          | 0.2                |
|                                       | D, J, F, | 6.8           | 0.2                | 6.7          | 0.2                | 6.7         | 0.2                | 6.6          | 0.3                |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ppm) | J, A, S, | 0.15          | 0.09               | 0.36         | 0.09               | 0.36        | 0.13               | 0.30         | 0.56               |
|                                       | D, J, F, | 0.33          | 0.09               | 0.32         | 0.09               | 0.31        | 0.11               | 0.18         | 0.12               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (ppm) | J, A, S, | 0.04          | 0.03               | 0.09         | 0.11               | 0.19        | 0.30               | 1.21         | 1.85               |
|                                       | D, J, F, | 0.05          | 0.03               | 0.06         | 0.04               | 0.14        | 0.17               | 2.09         | 2.79               |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed (ppm)      | J, A, S, | 8.68          | 1.93               | 6.64         | 1.61               | 4.76        | 1.62               | 10.79        | 8.42               |
|                                       | D, J, F, | 5.13          | 0.81               | 4.98         | 1.03               | 4.99        | 1.45               | 16.73        | 17.22              |
| DO sat. (%)                           | J, A, S, | 116.7         | 24.0               | 51.3         | 25.6               | 20.3        | 18.5               | 4.5          | 9.4                |
|                                       | D, J, F, | 89.1          | 6.6                | 85.8         | 7.5                | 65.4        | 31.4               | 26.8         | 36.5               |
| Alkalinity (ppm)                      | J, A, S, | 16.8          | 4.2                | 13.8         | 5.1                | 20.0        | 6.4                | 37.6         | 21.2               |
|                                       | D, J, F, | 18.5          | 2.2                | 18.6         | 2.1                | 20.6        | 4.4                | 45.7         | 31.9               |

月の冬季一様期に注目して多変量解析を行った。6水質因子の7か年平均値と標準偏差を、各層別の夏季成層期と冬季一様期の比較のために表一5に示す。平均値の表層での夏季と冬季の比較では、夏季のpHとDO飽和度の大きさ、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nの小ささが顕著で、夏季の光合成活動の活発さがわかる。下層では、DO飽和度以外は夏季・冬季とも似た値を示し、他の層に比べて変化が小さい。底層では、DO飽和度の小さいこと他の水質因子への影響が大きく、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub>消費量、アルカリ度の値が他の層に比べて極端に大きい。中層は表層と上層との中間的な様相を呈し、水質因子によって表層か下層かのいずれかに近い値となる。また、水質因子別に見ると、pHの中層で深での変化の安定と、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NとNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの表層と底層での値の大きさの逆転などが顕著なものである。標準偏差から見た各水質因子の変動の範囲は、底層を除いて冬季の変化は一般に小さいといえる。平均値に対する標準偏差の相対的な大きさの関係では、DO飽和度とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、および底層でのpH以外の水質因子が大きい。この各層における水質変動の範囲は、水質変化の安定性と水利用との関連から重要なものである。

各層の水質因子間相互の相関係数の大きさは、夏季成層期と冬季一様期の対比を含めて表一6(a), (b)に示す。相関の顕著なものとして、夏季表層での植物プランクトンの光合成活動との関連の強い因子

表一6 (a) 水質因子間相関係数 (表層, 中層)

((Surface Layer))

|                                 |          | pH     | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | KMnO <sub>4</sub> Consumed | DO sat. | Alkalinity |
|---------------------------------|----------|--------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------------|
| pH                              | J, A, S, |        | -0.776                          | -0.321                          | 0.540                      | 0.841   | 0.186      |
|                                 | D, J, F, |        | -0.131                          | -0.228                          | 0.068                      | 0.282   | -0.086     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | J, A, S, | -0.143 |                                 | 0.458                           | -0.300                     | -0.742  | 0.019      |
|                                 | D, J, F, | -0.197 |                                 | -0.250                          | -0.040                     | 0.282   | -0.175     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | J, A, S, | 0.177  | -0.340                          |                                 | 0.092                      | -0.392  | -0.022     |
|                                 | D, J, F, | -0.186 | -0.126                          |                                 | -0.238                     | -0.571  | 0.214      |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | J, A, S, | 0.304  | -0.229                          | 0.568                           |                            | 0.354   | 0.288      |
|                                 | D, J, F, | 0.114  | -0.214                          | -0.083                          |                            | 0.030   | 0.377      |
| DO sat.                         | J, A, S, | 0.223  | -0.189                          | -0.228                          | 0.031                      |         | -0.007     |
|                                 | D, J, F, | 0.252  | 0.175                           | -0.617                          | 0.022                      |         | -0.506     |
| Alkalinity                      | J, A, S, | 0.396  | 0.090                           | 0.518                           | 0.301                      | -0.673  |            |
|                                 | D, J, F, | -0.034 | -0.067                          | 0.079                           | 0.325                      | -0.366  |            |

((Middle Layer))

表一6 (b) 水質因子間相関係数 (下層, 底層)

((Under Layer))

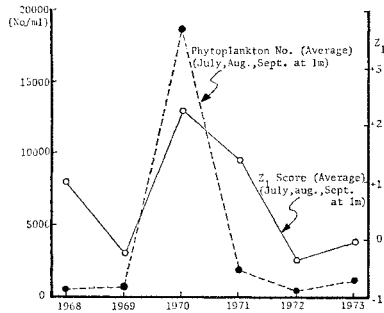
|                                 |          | pH     | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | KMnO <sub>4</sub> Consumed | DO sat. | Alkalinity |
|---------------------------------|----------|--------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------------|
| pH                              | J, A, S, |        | -0.389                          | 0.435                           | 0.191                      | -0.017  | 0.601      |
|                                 | D, J, F, |        | 0.099                           | -0.105                          | 0.069                      | 0.263   | 0.007      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | J, A, S, | 0.052  |                                 | -0.615                          | -0.333                     | 0.163   | -0.556     |
|                                 | D, J, F, | -0.170 |                                 | -0.539                          | -0.359                     | 0.467   | -0.472     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | J, A, S, | 0.415  | -0.222                          |                                 | 0.499                      | -0.446  | 0.681      |
|                                 | D, J, F, | 0.316  | -0.490                          |                                 | 0.646                      | -0.695  | 0.813      |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | J, A, S, | 0.557  | -0.020                          | 0.762                           |                            | -0.422  | 0.601      |
|                                 | D, J, F, | 0.306  | -0.475                          | 0.971                           |                            | -0.395  | 0.737      |
| DO sat.                         | J, A, S, | -0.154 | 0.019                           | -0.297                          | -0.347                     |         | -0.593     |
|                                 | D, J, F, | -0.180 | 0.877                           | -0.503                          | -0.488                     |         | -0.781     |
| Alkalinity                      | J, A, S, | 0.624  | 0.049                           | 0.876                           | 0.864                      | -0.402  |            |
|                                 | D, J, F, | 0.435  | -0.569                          | 0.944                           | 0.931                      | -0.595  |            |

((Bottom Layer))

間、底層と下層での汚濁関連因子とDO飽和度の関係などがあげられる。すなわち、夏季表層のpHとDO飽和度の正の相関、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NとpHおよびDO飽和度

表一7 成層期主成分分析結果 (表層, 中層, 下層, 底層)

| Z <sub>i</sub>                  | Surface Layer  |                |                | Middle Layer   |                |                | Under Layer    |                | Bottom Layer   |                |                |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
| pH                              | 0.542          | 0.105          | 0.089          | -0.311         | -0.308         | -0.743         | -0.328         | -0.603         | -0.382         | -0.240         | -0.355         |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.505         | 0.192          | -0.060         | 0.175          | 0.504          | -0.484         | 0.388          | 0.335          | 0.034          | -0.937         | 0.090          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.286         | 0.471          | 0.614          | -0.543         | -0.105         | 0.333          | -0.475         | -0.041         | -0.488         | 0.235          | -0.111         |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 0.308          | 0.588          | 0.283          | -0.453         | -0.300         | 0.052          | -0.385         | 0.331          | -0.508         | -0.030         | -0.061         |
| DO sat.                         | 0.517          | -0.118         | 0.144          | 0.281          | -0.649         | -0.225         | 0.328          | -0.642         | 0.262          | -0.022         | -0.921         |
| Alkalinity                      | 0.097          | 0.610          | -0.715         | -0.541         | -0.359         | -0.224         | -0.511         | 0.019          | 0.537          | -0.086         | -0.032         |
| λ                               | 3.033          | 1.299          | 0.885          | 2.320          | 1.602          | 0.993          | 3.268          | 1.105          | 3.247          | 1.073          | 0.860          |
| Cumulative Contribution         | 51%            | 72%            | 87%            | 39%            | 65%            | 82%            | 54%            | 73%            | 54%            | 72%            | 86%            |



図一4 夏季成層期の Z<sub>1</sub> 得点と植物プランクトン数の経年変化

の負の相関であり, 底層と下層での NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, KMnO<sub>4</sub> 消費量, アルカリ度の 3 者間の正の相関, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N と DO 飽和度の負の相関が顕著である。

以下に 6 つの場合の主成分分析結果を示すことにする。

(1) 夏季成層期表層の場合

第 1 主成分 Z<sub>1</sub> は, 表一7 に示すように寄与率が 51% と大きく, 因子負荷量では pH と DO 飽和度が正, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が負であるがその絶対値は 0.5 前後と大きい。これは最大情報量を含む第 1 主成分 Z<sub>1</sub> 中に, 夏季成層期表層での光合成活動の活発さが反映されていると考えられる。図一4 は C 地点の水深 1m における 7, 8, 9 月の植物プランクトン数と同地点同期の Z<sub>1</sub> 得点の平均値の経年変化プロットである。これからも Z<sub>1</sub> 得点と植物プランクトン量との対応が明らかとなり, Z<sub>1</sub> が光合成活動を反映する主成分であることは支持される。表一8 のように基準化した変量について, Z<sub>1</sub> を下式で表わすことができる。

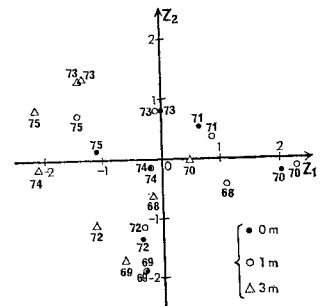
$$Z_1 = 0.542 \cdot \left( \frac{\text{pH} - 8.2}{0.9} \right) - 0.505 \cdot \left( \frac{\text{NO}_3^- - \text{N} - 0.15}{0.09} \right) - 0.286 \cdot \left( \frac{\text{NH}_4^+ - \text{N} - 0.04}{0.03} \right) + 0.308 \cdot \left( \frac{\text{KMnO}_4 \text{ 消費量} - 8.68}{1.93} \right) + 0.517 \cdot \left( \frac{\text{DO 飽和度} - 116.7}{24.0} \right) + 0.097 \cdot \left( \frac{\text{アルカリ度} - 16.8}{4.2} \right)$$

表一8 基準化後の主成分分析結果 (成層期表層)

|                                 | r <sub>1</sub> (Z <sub>1</sub> , x <sub>i</sub> ) | r <sub>2</sub> (Z <sub>2</sub> , x <sub>i</sub> ) | r <sub>3</sub> (Z <sub>3</sub> , x <sub>i</sub> ) | ν <sub>i</sub> = r <sub>1</sub> <sup>2</sup> + r <sub>2</sub> <sup>2</sup> | ν <sub>i</sub> = r <sub>1</sub> <sup>2</sup> + r <sub>2</sub> <sup>2</sup> + r <sub>3</sub> <sup>2</sup> |
|---------------------------------|---|---|---|--|--|
| pH                              | 0.940   | 0.114   | 0.084   | 89.7%  | 90.4%  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.871  | 0.217   | -0.005  | 80.5%  | 80.5%  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.505  | 0.536   | 0.574   | 54.2%  | 87.1%  |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 0.540   | 0.672   | 0.263   | 74.3%  | 81.2%  |
| DO sat.                         | 0.905   | -0.137  | 0.132   | 83.9%  | 85.6%  |
| Alkalinity                      | 0.157   | 0.695   | -0.668  | 50.8%  | 95.4%  |

ったアルカリ度が 0.6 とかなり高くなっている。各因子の符号は DO 飽和度のみが負で, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N と KMnO<sub>4</sub> 消費量の因子負荷量が比較的大きいので, 第 2 主成分 Z<sub>2</sub> は総合的な汚濁の程度を示す主成分といえる。

上記のような Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> の意味づけの下に, この解析に用いた 207 個のデータの各地点・各水深・各年度の夏季 3 か月の Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> 得点の平均値から, その経年的な変化を見ることができる。図一5 の Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> のプロットから, Z<sub>1</sub> 得点は 1968 年からの増加傾向が 1970 年にピークに達し, 1971, 1972 年といったん減少し, 1973 年から再び増加に転じていることがわかる。水深別では, 0, 1m の Z<sub>1</sub> 得点は接近しているが 3m の Z<sub>1</sub> 得点は両者より低い。これは植物プランクトン数の水深方向への減少傾向と一致している<sup>3)</sup>。また Z<sub>2</sub> 得点は, 1970 年より増加して 1973 年にピークに達した後やや横ばい状態にある。1972 年は流入河川上流のゴルフ場造成工事による濁質流入のため, ほかとは少し様子が異なっている。



図一5 夏季成層期表層の Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> の経年変化 (C地点)

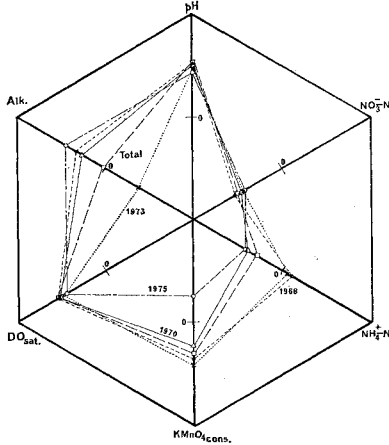


図-6 夏季成層期表層の固有ベクトル経年変化

基準化した変量による各主成分の固有ベクトルは、1標準偏差動くときの各主成分に対する寄与度あるいは感度と考えられ、各主成分はサンプルの有する情報を最大限に盛り込んだ1次結合形であるため、経年的に固有ベクトルを追跡することによって、各水質因子の経年変化の有無の検討も可能となる。また、上記の解析結果は、各種水質因子の時系列解析結果<sup>1)</sup>によっても支持されるものである。さらに、上記の解析と同サンプルの各年度ごとの主成分分析結果より、6水質因子の固有ベクトルを3.の場合と同様に正六角形の対角線上にプロットして表わしたものが図-6であり、1968、1970、1973、1975年および7か年総合の5つの場合が示してある。これより経年変化しないものはpHとDO飽和度、経年変化の比較的小さいものはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NとKMnO<sub>4</sub>消費量、経年変化の大きいものはNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nとアルカリ度であることがわかる。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NとNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nにかなり濃度の小さいNO<sub>2</sub><sup>-</sup>-Nを加えた無機態窒素、pH、DO飽和度の3因子間には高い単相関があるにもかかわらず、無機態窒素濃度は経年変化を有しpHとDO飽和度には経年変化が見られないことは、水質変化現象の単相関のみによる判断の危険性を示唆している。

表-9 (a) 植物プランクトン数を含む重回帰分析結果 (成層期表層)

|                                       | Mean   | Standard Deviation |
|---------------------------------------|--------|--------------------|
| pH                                    | 0.912  | 0.049              |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ppm) | -0.976 | 0.502              |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (ppm) | -1.513 | 0.238              |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed (ppm)      | 0.928  | 0.098              |
| DO sat. (%)                           | 2.058  | 0.090              |
| Alkalinity (ppm)                      | 1.214  | 0.120              |
| Phytoplankton No. (No./mL)            | 2.850  | 0.429              |

表-9 (b) 植物プランクトン数を含む水質因子間相関係数 (成層期表層)

|                                 | pH    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | KMnO <sub>4</sub> Consumed | DO sat. | Alkalinity | Phytoplankton No. |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------------|-------------------|
| pH                              | 1.000 | -0.588                          | -0.133                          | 0.546                      | 0.828   | 0.246      | 0.287             |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |       | 1.000                           | 0.225                           | -0.267                     | -0.608  | -0.073     | -0.317            |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N |       |                                 | 1.000                           | 0.139                      | -0.276  | 0.117      | 0.176             |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      |       |                                 |                                 | 1.000                      | 0.301   | 0.393      | 0.444             |
| DO sat.                         |       |                                 |                                 |                            | 1.000   | -0.038     | 0.171             |
| Alkalinity                      |       |                                 |                                 |                            |         | 1.000      | 0.371             |
| Phytoplankton No.               |       |                                 |                                 |                            |         |            | 1.000             |

また、夏季成層期表層の第1主成分Z<sub>1</sub>が植物プランクトンの光合成活動を反映する主成分と考えられるので、植物プランクトン数について6水質因子を説明変数とした対数増減法による重回帰分析を行った。用いた植物プランクトン数(P)のデータは同時期のA、C両地点の0、1mの値であり、対数変換値X<sub>i</sub>→log(X<sub>i</sub>+0.0001)を用いて得られた重回帰式は以下のように表わせる。

$$P(\text{個/mL}) = -0.232 \cdot [\text{NO}_3^- \text{-N (ppm)}] + 0.314 \cdot [\text{NH}_4^+ \text{-N (ppm)}] + 1.130 \cdot [\text{KMnO}_4 \text{消費量 (ppm)}] + 0.817 \cdot [\text{アルカリ度 (ppm)}] + 1.057$$

(各係数とも1%の危険率で有意であり、R=0.56, R<sup>2</sup>=0.32; F=13.24 > F<sub>0</sub>(4, 115, 0.01))

なお、この解析による諸統計値は表-9 (a), (b)に示す。

(2) 夏季成層期中層

第1主成分Z<sub>1</sub>の寄与率は表-7に示されるように39%であり、因子負荷量ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub>消費量、アルカリ度が負で大きく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NとDO飽和度は正であるが小さい。これらから判断して、第1主成分Z<sub>1</sub>は総合的な汚濁の程度を反映する主成分とすることができる。第2主成分Z<sub>2</sub>の寄与率は26%と大きくはないが、Z<sub>1</sub>の寄与率がやや低い場合Z<sub>2</sub>の重要性は幾分高くなる。Z<sub>2</sub>の因子負荷量ではDO飽和度が負で特に高く、ついで大きいNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nはこれより低くなるため、Z<sub>2</sub>はDO飽和度の分布状態を反映する主成分といえる。第3主成分Z<sub>3</sub>の寄与率は17%とさらに低くなるが、その因子負荷量ではpHが負

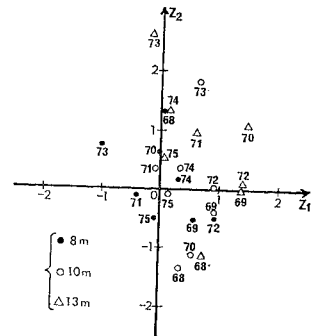


図-7 夏季成層期中層のZ<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>の経年変化 (C地点)

他に比べて高いため、 $Z_3$  は pH の分布状態を反映する主成分と考えることができる。

$Z_1$  の経年変化の傾向では、図-7 のように 1972 年を除いて 1968 年から負の方向への増加、すなわち、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{KMnO}_4$  消費量、アルカリ度の濃度増加傾向が見られる。水深方向には、8、10、13 m の順に小さいながらも  $Z_1$  の減少傾向も認められ、水質悪化の傾向となる。 $Z_2$  の経年変化の傾向は、 $Z_1$  の特性とは対照的な性格からも予測されるように、 $Z_1$  と逆の方向、すなわち、1968 年から減少の傾向にあることがわかる。また、各年度ごとの解析による固有ベクトルの変化では、年度ごとに変動しており、表層ほど固定化された変化パターンは現われない。これも 2 躍層間にはさまれた流動状態の影響の大きい層であることを考えれば妥当な結果と思われる。

(3) 夏季成層期下層

第 1 主成分  $Z_1$  は 表-7 のように寄与率が 54% と大きく、因子負荷量ではアルカリ度、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{KMnO}_4$  消費量、pH の順に負で大きく、正では  $\text{NO}_3^--\text{N}$  が大きく DO 飽和度は小さい。これより  $Z_1$  は総合的な汚濁の程度を反映する主成分といえる。第 2 主成分  $Z_2$  は寄与率が 19% と低くなり、6 水質因子の負荷量とも小さく具体的な意味づけは困難である。

$Z_1$  の経年変化では、図-8 のように下層水質の悪化を示す  $Z_1$  の正から負への移行が見られる。水深方向には  $Z_1$  の負での増加傾向によって汚濁度の増大がわかる。

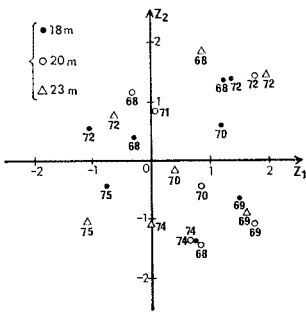


図-8 夏季成層期下層  $Z_1$ 、 $Z_2$  の経年変化 (C地点)

(4) 夏季成層期底層

第 1 主成分  $Z_1$  の寄与率は 表-7 のように 54% と大きく、その因子負荷量も (3) と同様の傾向にあるが、 $\text{NO}_3^--\text{N}$  の  $Z_1$  への寄与は小さく  $Z_2$  に大きく現われる。これより  $Z_1$  は総合的な汚濁の程度を反映する主成分といえる。第 2 主成分  $Z_2$  の寄与率は 18% と低く、因子負荷量では  $\text{NO}_3^--\text{N}$  が特に負の大きな値となり、他の因子の寄与はほとんど無視できる。したがって、 $Z_2$

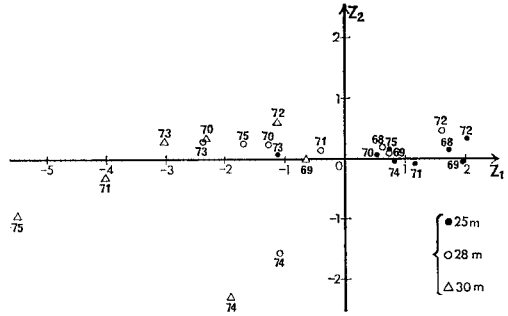


図-9 夏季成層期底層の  $Z_1$ 、 $Z_2$  の経年変化 (C地点)

は  $\text{NO}_3^--\text{N}$  の分布状態を反映する主成分と考えられる。

$Z_1$  の経年変化を年度別に見ると、図-9 のように年度ごとに多少の増減はあるものの全体的には水質悪化の傾向を示す  $Z_1$  の負での増加が見られる。流下方向の 3 地点の最大水深が異なることへの留意が必要であるが、C地点の  $Z_1$  の水深方向への負の増大が認められ、底泥との物質移動の影響などにより水深方向での水質の層化(底成層)現象を反映している。また、 $Z_1$  が負で大きい値をとる水深では  $Z_2$  も負で大きい値をとる傾向がある。

各年度ごとの主成分分析による固有ベクトルの変化では、主成分の構成内容が年ごとに少しずつ変化しており、単因子のみによる把握は困難であるが、全体的には経年的な水質悪化の傾向は認められる。この固有ベクトルの夏季成層期の 4 層の比較を正六角形の対角線上プロットとして 図-10 に示す。この図より表層と他の 3 層のパターンの相違は明らかとなるが、これは表層と他の層の第 1 主成分  $Z_1$  の特性の相異によるものである。

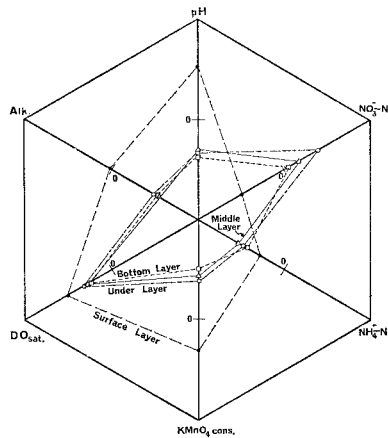


図-10 夏季成層期の鉛直方向各層の固有ベクトル変化

表-10 冬季一様期の主成分分析結果（表層，中層）

| $Z_i$                    | Surface Layer |        |        | Middle Layer |       |       |
|--------------------------|---------------|--------|--------|--------------|-------|-------|
|                          | $Z_1$         | $Z_2$  | $Z_3$  | $Z_1$        | $Z_2$ | $Z_3$ |
| pH                       | 0.256         | 0.300  | 0.666  | 0.26         | 0.45  | 0.43  |
| $\text{NO}_3^-$ -N       | 0.310         | -0.415 | -0.674 | 0.20         | -0.45 | -0.59 |
| $\text{NH}_4^+$ -N       | -0.514        | -0.336 | 0.130  | -0.56        | -0.21 | 0.31  |
| $\text{KMnO}_4$ Consumed | -0.021        | 0.740  | -0.232 | -0.08        | 0.63  | -0.31 |
| DO sat.                  | 0.609         | 0.042  | 0.038  | 0.65         | 0.08  | -0.06 |
| Alkalinity               | -0.450        | 0.477  | -0.174 | -0.37        | 0.38  | -0.51 |
| $\nu$                    | 2.117         | 1.388  | 1.102  | 1.89         | 1.46  | 1.06  |
| Cumulative Contribution  | 35%           | 58%    | 77%    | 31%          | 56%   | 73%   |

(5) 冬季一様期表層

第1主成分  $Z_1$  の寄与率は表-10 のように 35% とあまり大きくはなく、因子負荷量では DO 飽和度が正で特に高く、 $\text{NH}_4^+$ -N とアルカリ度が負で比較的大きい。DO 飽和度と  $\text{NH}_4^+$ -N は負の相関があり、 $\text{NH}_4^+$ -N とアルカリ度の相関も高いため、第1主成分  $Z_1$  は DO 飽和度の分布状態を反映する主成分と考えられる。第2主成分  $Z_2$  の寄与率は 23% と低いが、 $\text{KMnO}_4$  消費量の因子負荷量が正で特に高く、他の因子は無視できる程度のため、 $Z_2$  は有機汚濁の程度を反映する主成分といえる。第3主成分  $Z_3$  の寄与率は 19% と小さくなるが、因子負荷量では pH と  $\text{NO}_3^-$ -N が正と負で同程度に高い。したがって、 $Z_3$  は pH と  $\text{NO}_3^-$ -N の分布状態を反映する主成分となる。

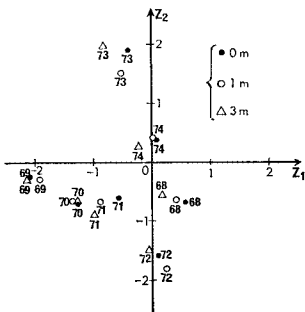


図-11 冬季一様期表層の  $Z_1, Z_2$  の経年変化 (C地点)

$Z_1$  の経年変化では、図-11 のように顕著な傾向は認められない。これは  $Z_1$  の特性を考えれば、DO 飽和度の時系列解析で長期傾向が認められなかった事実を反映していると思われる。 $Z_1, Z_2$  の水深方向の分布差は小さくなり、冬季の水質分布の一様化との対応が明らかである。流下方向には  $Z_1$  が負で大きくなり、水質悪化の傾向が認められるほか、 $Z_1$  の分布変化から循環の時間遅れの影響も明らかとなる。

各年度ごとの主成分分析による固有ベクトルの変化では、 $\text{KMnO}_4$  消費量とアルカリ度の  $Z_1$  への寄与が経年的に増大しており、総合的な汚濁進行の1つの現象と見ることが出来る。

(6) 冬季一様期中層

第1主成分  $Z_1$  と第2主成分  $Z_2$  とも、冬季一様期表層

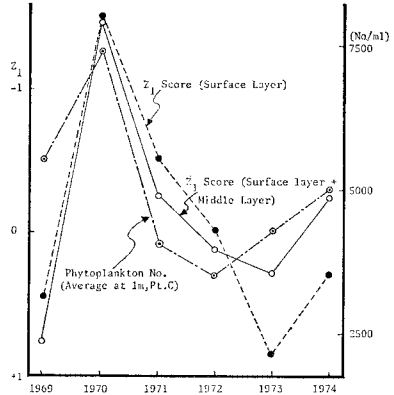


図-12 冬季一様期の  $Z_1$  得点と翌年度の植物プランクトン数との対応

層とはほぼ同じ寄与率と性格になる。これは冬季の全層にわたる水質分布の一様化を反映している。因子負荷量の大きさでは、表層と比べて  $\text{NO}_3^-$ -N が  $Z_1$  では小さくなり  $Z_2$  ではやや大きくなる程度の相違が見られるだけである。 $Z_1$  と  $Z_2$  の経年変化でも同期の表層と同様の傾向にあり、流下方向には水深の浅い地点の  $Z_1$  の一様化の程度が大きい。また、各年度ごとの主成分分析による固有ベクトルの変化も表層と同様の特徴を示す。

(5),(6) の冬季一様期の表層・中層の個々の主成分分析結果の酷似から、表層と中層の  $Z_1$  得点を各年度ごとに総計し、翌年度の C 地点の水深 1 m の植物プランクトン数と比較したものが図-12 である。これより植物プランクトン増殖と冬季一様期の水質状態との関連の評価が可能となる。この両者の良好な一致より、植物プランクトン増殖の潜在的なポテンシャルの定量化と主成分との関連づけによって、冬季一様期の表層・中層の  $Z_1$  得点による翌年度の植物プランクトンの平均的出現量の予測も可能と思われる。さらに一歩進んで、 $Z_1$  の指標化の試みには、 $Z_1$  の構成内容を水質因子選択の面から検討し、 $\text{PO}_4^{3-}$  などの取り込みの考慮や多くの水域へのこの手法の適用による検討を行う必要がある。それには対象水域の表層・中層の固有ベクトルの変化が同様の傾向にあるかなどのチェックにも留意することが重要である。

5.3 貯水池の比較

千荷、鳥原、布引の3貯水池の水質変化に主成分分析を試み、各主成分による水質の総合的な評価による比較検討を行った。鳥原貯水池は鈴蘭台団地の下流にある汚濁の進行した水源池であり、有効貯水量 1 200 000  $\text{m}^3$ 、最大水深約 21 m である。布引貯水池は六甲山麓にある有効貯水量 470 000  $\text{m}^3$ 、最大水深約 18 m の比較的汚濁



表一11 3貯水池の年平均水質値の比較 (1974年)

|                                       | Nunobiki R. |                    | Sengari R. |                    | Karasuhara R. |                    |
|---------------------------------------|-------------|--------------------|------------|--------------------|---------------|--------------------|
|                                       | Mean        | Standard Deviation | Mean       | Standard Deviation | Mean          | Standard Deviation |
| pH                                    | 7.25        | 0.22               | 7.59       | 0.94               | 8.70          | 0.71               |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ppm) | 0.178       | 0.035              | 0.206      | 0.094              | 0.539         | 0.455              |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (ppm) | 0.019       | 0.013              | 0.055      | 0.042              | 0.074         | 0.075              |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed (ppm)      | 4.01        | 0.85               | 5.97       | 1.52               | 10.32         | 2.49               |
| DO sat. (%)                           | 98.2        | 5.41               | 100.6      | 26.07              | 114.0         | 23.85              |
| Alkalinity (ppm)                      | 15.12       | 1.17               | 17.11      | 1.61               | 62.08         | 7.02               |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>         | 0.001       | 0.002              | 0.013      | 0.028              | 0.105         | 0.079              |

較を行うと、栄養塩濃度や植物プランクトン数などから予想されるように、鳥原、千苺、布引の順に小さくなる。これは鳥原がすでに富栄養化しており、千苺が中栄養から富栄養への進行段階に入ったこと、布引が依然として貧栄養の状態にあるという事実と一致する。また、固有ベクトル変化の正六角形対角線上プロットを示す図一13から、千苺は鳥原に接近している状態も確認できる。

表一12 3貯水池の主成分分析結果 (成層期; 0.1 m)

|                                 | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| pH                              | 0.530          | 0.035          |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.391         | -0.360         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.107          | -0.737         |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 0.455          | -0.202         |
| DO sat.                         | 0.391          | 0.414          |
| Alkalinity                      | 0.442          | -0.338         |
| λ                               | 3.161          | 1.474          |
| Cumulative Contribution         | 53%            | 77%            |

のない水源池である。この3貯水池の1968年から1975年までの夏季成層期の水質変化に対して、3, 4の解析と同様に6水質因子の堰堤前地点水深0.1 mのデータ138個について主成分分析を行った。3貯水池水

### 6. 流入河川水質と貯水池水質との対応

千苺貯水池の両流入河川と貯水池の水質の対応関係を検討するために、1975年度のデータを一括したグループとして主成分分析を行い、各主成分得点とその因子負荷量の大きさから両者の相対的な位置づけを試みた。解析に用いる流入河川水質と貯水池水質のサンプル数は、両者が対等のウェイトを保持するように同数とした。貯水池では流入水の主流部が通過する領域として、5, 6月は表層、7, 8, 10月は中層の場合と、5, 6, 7, 8, 10月とも中層の場合の2つのケースを考えてサンプルを抽出した。流入河川では両河川の上・中・下流の9地点について、貯水池と同時期のデータを用いた。なお、9月は貯水池データの欠除のため解析対象から外した。

質の簡単な比較と相関係数行列を表一11に示す。この表より、汚濁や光合成活動と関連する水質因子の貯水池による差に注目する必要がある。

#### (1) 表層+中層の場合

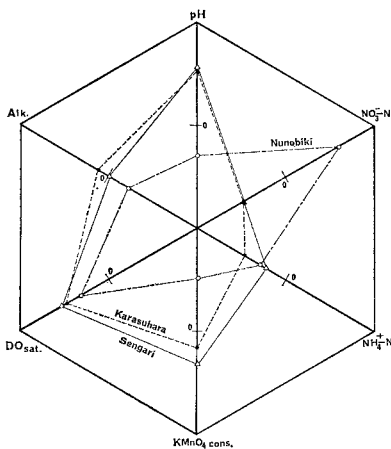
第1主成分 Z<sub>1</sub> の寄与率は表一12のように53%と高く、因子負荷量ではpH, KMnO<sub>4</sub>消費量, アルカリ度, DO飽和度が正で大きく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nが負で大きい。これより、Z<sub>1</sub>は4の(1)の場合と同様に光合成活動の程度を反映する主成分と考えることができる。第2主成分 Z<sub>2</sub> の寄与率は21%と低くなり、因子負荷量ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nだけが特に負で高い値を示すので、Z<sub>2</sub>はNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの分布状態を反映する主成分であるといえる。寄与率の大きい第1主成分 Z<sub>1</sub> によって3貯水池の比

第1, 第2主成分 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> の寄与率は表一13のようにそれぞれ31%, 28%と差が小さく、Z<sub>1</sub>はその因子負荷量の構成内容からの特性づけが困難なため、Z<sub>2</sub>を中心に検討を行った。Z<sub>2</sub>の因子負荷量ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NとKMnO<sub>4</sub>消費量が負で大きく、DO飽和度が正で大きいことから、Z<sub>2</sub>は総合的な汚濁の程度を反映する主成分と考えられる。

Z<sub>2</sub>得点による比較では、表一14(a)に示すように、流入河川については各月とも波豆川のZ<sub>2</sub>が羽東川に比

表一13 流入水質に関する主成分分析 (春~秋)

| Z <sub>i</sub>                  | May, June (Surface Layer) + July, Aug., Oct. (Middle Layer) |                |                | May, June, July, Aug., Oct. (Middle Layer) |                |                |
|---------------------------------|---|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
|                                 | Z <sub>1</sub>  | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>1</sub>                             | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
| pH                              | 0.239   | 0.371          | 0.310          | -0.468                                     | -0.490         | -0.048         |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.577  | -0.248         | 0.324          | 0.420                                      | -0.278         | -0.395         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.372   | -0.581         | 0.102          | -0.332                                     | 0.478          | -0.486         |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | 0.485   | -0.464         | -0.180         | -0.395                                     | 0.511          | 0.035          |
| DO sat.                         | 0.458   | 0.489          | 0.045          | -0.460                                     | -0.271         | 0.481          |
| Alkalinity                      | 0.163   | -0.093         | 0.868          | -0.356                                     | -0.346         | -0.611         |
| λ                               | 1.873   | 1.687          | 1.080          | 2.305                                      | 1.594          | 1.115          |
| Cumulative Contribution         | 31%   | 59%            | 77%            | 38%  | 65%            | 84%            |



図一13 千苺・布引・鳥原3貯水池の固有ベクトルの比較

表-14 (a)  $Z_1, Z_2$  の流下方向変化  
 ((Surface Layer (May+June)+Middle Layer (July+August+October)))

| $Z_i$             | May    |       | June   |        | July   |        | August |        | October |        |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|                   | $Z_1$  | $Z_2$ | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$   | $Z_2$  |
| Hatsuka R.        | -0.881 | 0.588 | -0.645 | 0.603  | 1.323  | -0.652 | 0.393  | -0.405 | -0.216  | 0.501  |
| Hazu R.           | 0.042  | 0.281 | 0.855  | -1.294 | 2.189  | -1.581 | 1.574  | -2.164 | 1.254   | 0.378  |
| Pt. A             | 0.621  | 1.805 | 0.568  | 1.409  | -0.852 | -0.144 | -1.966 | -1.046 | -0.887  | 0.170  |
| Pt. B             | 1.052  | 1.950 | 0.973  | 1.767  | -1.230 | -0.613 | -1.955 | -0.557 | -1.179  | -0.488 |
| Pt. C             | 1.118  | 1.953 | 0.969  | 1.689  | -1.993 | -0.729 | -1.878 | -0.573 | -1.728  | -0.978 |
| Mean of Reservoir | 0.930  | 1.902 | 0.836  | 1.622  | -1.358 | -0.495 | -1.933 | -0.725 | -1.265  | -0.432 |

表-14 (b)  $Z_1, Z_2$  の流下方向変化  
 ((Middle Layer (May+June+July+August+October)))

| $Z_i$             | May    |        | June   |        | July   |        | August |        | October |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|                   | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$  | $Z_2$  | $Z_1$   | $Z_2$  |
| Hatsuka R.        | 0.222  | -1.089 | -0.171 | -1.352 | -1.387 | 1.208  | -1.008 | -0.137 | -0.679  | -0.805 |
| Hazu R.           | -0.983 | 1.128  | -2.682 | -1.290 | -1.824 | 2.478  | -1.453 | 2.796  | -2.409  | -1.213 |
| Pt. A             | 1.314  | 0.164  | 0.671  | 1.247  | 0.785  | 0.235  | 0.795  | 0.795  | -0.214  | -1.424 |
| Pt. B             | 0.887  | 0.137  | 0.923  | -0.085 | 1.051  | 0.148  | 2.152  | 0.436  | 0.554   | -0.552 |
| Pt. C             | 1.118  | 1.953  | 0.969  | 1.689  | -1.993 | -0.729 | -1.878 | -0.573 | -1.728  | -0.978 |
| Mean of Reservoir | 0.975  | -0.006 | 0.863  | 0.418  | 1.170  | 0.047  | 2.169  | 0.570  | 0.656   | -0.551 |

べて小さく、汚濁の進行度合の大きいことがわかる。貯水池と流入河川との対比では、5, 6, 7月 は貯水池が流入河川よりも  $Z_2$  が大きく、流下方向に浄化の傾向が見られる。8月には貯水池の  $Z_2$  が羽東川より小さく、波豆川よりも大きくなる。10月 は貯水池の  $Z_2$  が流入河川より小さくなり、成層末期の貯水池水質の分布特性の一端を表わしていると考えられる。貯水池内流下方向の地点間比較では、7月を除いて流下方向に  $Z_2$  得点が大きくなり、流下方向に見かけ上の浄化の傾向が認められる。貯水池内3地点のうちで最も流入端に近いA地点と流入河川との対応では、8月を除いて流入河川の方の  $Z_2$  得点が大きく、貯水池流入に伴う希釈や流下時間の増大などによって、A地点のこの層の水質は見かけ上よくなっている。

(2) 中層のみの場合

第1, 第2主成分  $Z_1, Z_2$  の寄与率は表-13のようにそれぞれ38%, 27%と、(1)の場合と比べて両者の差は開くが、(1)の場合との比較を考慮して  $Z_2$  について評価を行う。 $Z_2$  の因子負荷量では  $KMnO_4$  消費量,  $NH_4^+-N$ , pH が負で大きく、 $Z_2$  は(1)の場合と同様に総合的な汚濁の程度を反映する主成分と考えることができる。

表-14 (b) の  $Z_2$  得点による比較から、流入河川については10月を除いて波豆川の  $Z_2$  が羽東川より小さい。貯水池と流入河川の比較では、5, 6月 は貯水池の方の  $Z_2$  が小さく、貯水池の汚濁の高いことがわかる。7, 8月 は逆に貯水池の方の  $Z_2$  が大きく、見かけ上の浄化が見られ、10月 は両者の  $Z_2$  がほぼ等しくなる。

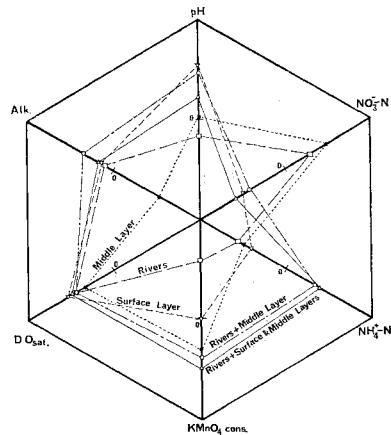


図-14 貯水貯と流入河川の固有ベクトルの比較

貯水池内流下方向の地点間比較では、全体的に3地点ともあまり顕著な差がなく、10月のみが流下方向に小さくなり、汚濁増大の傾向が見られる。流入端に近い貯水池内A地点と流入河川との対応では、5, 6, 8月にA地点の  $Z_2$  が流入河川よりも大きくなることがある。

この貯水池と流入河川の水質の対応関係は、上述の分析と同一サンプルによる (i) 河川, (ii) 貯水池, (iii) 河川+貯水池, おのおのについての主成分分析結果から得られた固有ベクトルの正六角形対角線上プロットによって、さらに明らかとなる。図-14 に示すように、成層期の貯水池中層と一部表層を含む中層、および流入河川との相対的な関係が、ほとんど同じ大きさとなる DO 飽和度以外の5水質因子の差違として比較できる。特に貯水池と流入河川との違いでは、流入河川が常に中性に

表-15 10 水質因子間の相関係数 (9地点)

|                                 | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | KMnO <sub>4</sub> Consumed | DO sat. | Alkalinity | Cl <sup>-</sup> | BOD <sub>5</sub> | TOC    | Specific Conductance | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------------|-----------------|------------------|--------|----------------------|-------------------------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | 1.000                           | -0.008                          | -0.149                     | -0.197  | 0.212      | 0.278           | -0.135           | -0.049 | 0.375                | 0.216                         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N |                                 | 1.000                           | 0.633                      | -0.383  | 0.130      | 0.156           | 0.391            | 0.518  | 0.368                | 0.730                         |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      |                                 |                                 | 1.000                      | 0.352   | 0.106      | 0.050           | 0.403            | 0.446  | 0.119                | 0.517                         |
| DO sat.                         |                                 |                                 |                            | 1.000   | 0.166      | 0.110           | -0.110           | -0.158 | -0.021               | -0.464                        |
| Alkalinity                      |                                 |                                 |                            |         | 1.000      | 0.829           | 0.398            | 0.382  | 0.865                | 0.236                         |
| Cl <sup>-</sup>                 |                                 |                                 |                            |         |            | 1.000           | 0.376            | 0.246  | 0.860                | 0.211                         |
| BOD <sub>5</sub>                |                                 |                                 |                            |         |            |                 | 1.000            | 0.351  | 0.339                | 0.358                         |
| TOC                             |                                 |                                 |                            |         |            |                 |                  | 1.000  | 0.433                | 0.588                         |
| Specific Conductance            |                                 |                                 |                            |         |            |                 |                  |        | 1.000                | 0.401                         |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>   |                                 |                                 |                            |         |            |                 |                  |        |                      | 1.000                         |

近い pH 値を示すのに対して、成層期の貯水池表層・中層とも光合成活動の影響のため pH のアルカリ側への傾斜の大きいことが注目される。

したがって、このように河川や貯水池を含む水質の多変量解析では、対象とする水質変化現象を適切に把握するための水質因子の選択が重要な課題となる。この問題を検討したのが、次の流入河川水の解析である。

### 7. 流入河川の解析

流入河川の水質についても貯水池貯留水と同様に多変量解析を行い、水質の総合評価を試みた。貯水池の水質変化に大きな影響を与える流入河川に対しては、総合的な水質評価による流域各地点の相対的な位置づけをするとともに、多変量解析法にとって重要な問題である水質因子の選択やサンプル数の相違の比較検討をした。水質因子の選択に関しては、因子間相関の大きさや主成分分析の因子負荷量の分布状態を考慮して、貯水池解析で用いた6水質因子から pH を除き、塩素イオン、BOD<sub>5</sub>、TOC、導電率、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>を加えた10因子の場合、貯水池解析での6水質因子から pH だけを除いた5因子の場合、および NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub>消費量、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>の4因子の場合の3ケースについて検討した。用いたデータは著者らの9回の毎月観測値(1975年5月~1976年1月)であり、サンプル数に関しては2流入河川についての全採水地点(18地点—羽東川10、波豆川8)162サンプルと流域のブロック分けを考慮した9地点(羽東川5、波豆川4)81サンプルの2つの場合を取り扱った。これらの主成分分析については9地点の結果を中心に考察を加えることにする。

#### (1) 10水質因子の場合

10水質因子間の相関係数は、表-15に示すように塩素イオンと導電率のほかは、人為的な汚濁に関連する因子群の相関の強さが目立つ。この9地点の結果と18の全

表-16 10水質因子による主成分分析結果(9地点)

|                                 | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.110         | -0.211         | 0.723          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.355         | 0.355          | 0.011          |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | -0.280         | 0.382          | -0.170         |
| DO sat.                         | 0.145          | -0.373         | -0.459         |
| Alkalinity                      | -0.352         | -0.410         | -0.125         |
| Cl <sup>-</sup>                 | -0.337         | -0.424         | -0.016         |
| BOD <sub>5</sub>                | -0.306         | 0.050          | -0.376         |
| TOC                             | -0.352         | 0.142          | -0.160         |
| Specific Conductance            | -0.406         | -0.338         | 0.094          |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>   | -0.378         | 0.270          | 0.213          |
| λ                               | 3.984          | 2.290          | 1.311          |
| Cumulative Contribution         | 40%            | 63%            | 76%            |

採水地点のそれには顕著な差違は認められなかった。

第1主成分 Z<sub>1</sub> の寄与率は表-16に示すように40%と大きく、その因子負荷量では NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N と DO 飽和度を除く8因子が同じ程度の負で並ぶため、Z<sub>1</sub> は人為的な汚濁の程度を反映する主成分と考えることができる。第2主成分 Z<sub>2</sub> は寄与率が23%となり、因子負荷量ではアルカリ度、塩素イオン、DO 飽和度が負で大きく、KMnO<sub>4</sub>消費量、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N が正で大きい。これら因子負荷量の大きいものは流量の増加に対してその濃度変化を伴うことから、Z<sub>2</sub> は流量変化に影響される水質因子からなる主成分といえる。第3主成分 Z<sub>3</sub> は寄与率が13%と小さい。その因子負荷量では NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が負で特に大きく、ほかは小さいため、Z<sub>3</sub> は NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N の分布を反映する主成分となる。

これら9地点の主成分の内容は、全採水地点についても同様の結果となり、同質の集団の場合はサンプル数を半減しても、主成分分析による固有ベクトルの値や因子負荷量等の特性値には大きな差違がないことがわかる。また、寄与率の大きい Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub> 主成分に対する基準化した因子負荷量の分布を示した図-15より、各水質因子の特性による分類が可能となる。すなわち、(i)溶解性の因子群—導電率、塩素イオン、アルカリ度、(ii)人為的な汚濁に関する因子群—BOD<sub>5</sub>、TOC、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、KMnO<sub>4</sub>消費量、(iii)独立した挙動を示す

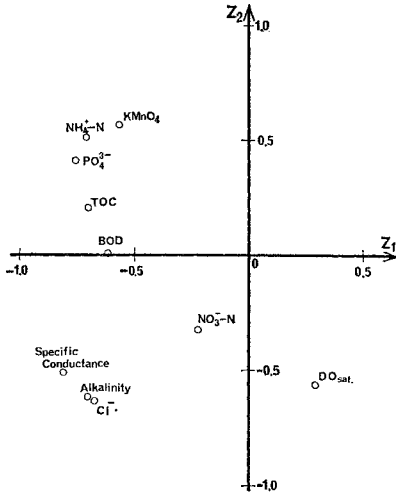


図-15 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> に対する因子負荷量の分布

因子群—NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, DO 飽和度, の分類となり, 一般的にも認めうるものとなる。

(2) 5 水質因子と 4 水質因子の場合

河川などの実際の水域では同時に多数の水質因子が定期的に測定されていることはまれなため, 現実の問題として, さらに少ない水質因子の場合を考慮して一般化をはかる必要がある。まず, 5 水質因子の場合を検討する。

第 1 主成分 Z<sub>1</sub> の寄与率は表-17 に示すように 39% と大きく, 因子負荷量では NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N と KMnO<sub>4</sub> 消費量が負で大きく, DO 飽和度が正で大きい。Z<sub>1</sub> は人為的な汚濁の程度を反映する主成分と考えられる。これら因子負荷量の大きいものは, (1) の 10 水質因子の場合よりも値が大きくなり, ほかの因子との差が開いて

表-17 (a) 5 水質因子による主成分分析結果 (9 地点)

| Z <sub>i</sub>                  | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.016         | -0.731         | -0.489         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.625         | -0.021         | 0.150          |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | -0.612         | 0.119          | 0.254          |
| DO sat.                         | 0.479          | -0.005         | 0.594          |
| Alkalinity                      | -0.075         | -0.671         | 0.568          |
| λ                               | 1.929          | 1.217          | 1.073          |
| Cumulative Contribution         | 39%            | 63%            | 84%            |

表-17 (b) 4 水質因子による主成分分析結果 (9 地点)

| Z <sub>i</sub>                  | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | -0.032         | -0.924         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | -0.608         | 0.035          |
| KMnO <sub>4</sub> Consumed      | -0.541         | 0.285          |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>   | -0.580         | -0.252         |
| λ                               | 2.258          | 1.105          |
| Cumulative Contribution         | 56%            | 84%            |

おり, Z<sub>1</sub> の解釈をさらに明解なものにしている。第 2 主成分 Z<sub>2</sub> の寄与率は 24% となり, その因子負荷量ではアルカリ度と NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が特に大きく, ほかは無視できるほど小さい。この両因子とも流量増加とともに減少する傾向があるため, Z<sub>2</sub> は流量変化に影響される水質因子からなる主成分といえる。第 3 主成分 Z<sub>3</sub> の寄与率は 21% となり, その因子負荷量では DO 飽和度とアルカリ度が正で大きく, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が負で大きい。しかし, 全採水地点の場合では NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が負で特に大きく, ほかは無視できるほど小さいので (1) の 10 水質因子の場合と同様の Z<sub>3</sub> の解釈ができるが, 9 地点の場合は Z<sub>3</sub> の具体的な意味づけは困難である。

このように 9 地点と全採水地点の主成分分析結果の比較では, 第 1 主成分では同様の結果となるが, 第 2, 第 3 と寄与率の低くなる主成分では因子負荷量の分布変化のためにその構成内容が少し変わる場合もある。

ついで, 4 水質因子の場合を検討する。第 1 主成分 Z<sub>1</sub> の寄与率は 56% と大きくなり, その因子負荷量では PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, KMnO<sub>4</sub> 消費量が負で大きく, Z<sub>1</sub> は人為的な汚濁の程度を反映する主成分と考えられる。第 2 主成分 Z<sub>2</sub> の寄与率は 28% となり, その因子負荷量では NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が負で特に大きい。ほかは無視できる程度のため, Z<sub>2</sub> は NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N の分布を反映する主成分といえる。この 4 水質因子の場合は, 第 1, 第 2 主成分 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> の累積寄与率が 84% と高くなり, 特に第 1 主成分で 50% 以上に達している。

以上 (1), (2) の主成分分析結果から, 寄与率の最も高い第 1 主成分はいずれの解析でも同様に人為的な汚濁の程度を反映する主成分と考えられる。しかし, 第 2, 第 3 主成分と寄与率と寄与率の低下に伴い, 水質因子の内容や数およびサンプル数によって多少の差違が出ることもあり, 寄与率の大きさに留意した取り扱いが重要である。したがって, 寄与率の高い主成分については, その構成内容から流域ブロック別の水質負荷量の発生源との重回帰分析によって, ブロック別の水質負荷のウェイトを知るなど, 流域の水質管理への適用が可能となる。

8. 水質評価のための総合指標の考察

水質汚濁に係わる環境基準は, 人の健康や生活環境の保全を考慮して, 微量成分で健康阻害として問題になる毒性物質の項目と, 利用や機能阻害として自然環境保全や水道・水産・工業用水および環境保全で問題となる代表的な 5 水質項目を規定している。しかし, 水質汚濁現象は, 病原菌, 農薬を含む特殊な化学物質, 重金属, 油, 熱などの水質汚染に属するものは別にして, 濁水, 有機汚濁, 富栄養化などと多様化し, 水質汚濁の形態あ

るいは質的・量的変化に伴い、汚濁原因の複合化や汚濁の大規模化が進行している。このように広義の水質汚濁現象に対しては、単一の水質因子ではむろんのこと、2, 3の水質因子のみによって、その程度を総合的に判定や比較することは困難な場合が多い。これが各種の原因によって複合化した現象あるいは状態の総合評価のために、水質の総合指標が必要となるゆえんである。水域の水質の状態を十分表現しうる適当な総合指標の存在は、水域内の水塊相互の比較や分布状態の把握、水域相互間の比較、水域自体の経年あるいは周年変化の比較や評価を可能とする。また、相対的な比較だけでなく、原因側と結果側の具体的内容との整合性のチェックやいくつかの典型例を含めた基準化の解析による相対的な位置づけから絶対的な指標への展開も必要である。これらの条件を満たしうる多変量解析法による水質の評価や総合水質指標化の研究もいくつか見られるが<sup>9)~8)</sup>、まだ試みの段階である。この多変量解析法が意味をもち、かつ、有効な手段となるのは、同一レベルの精度を有する十分多くのデータが整備されている場合であり、複雑な現象や状態の特性化や総合評価が必要な場合である。

多変量解析法では、主成分分析結果から、十分な寄与率を有し、その意味づけの明らかな主成分について、その具体的な事象との関係を重回帰分析などで検討することによって、主成分の総合指標化をはかることができる。また、主成分分析では、得られる結果が選択された因子の組に依存するので、これを逆用して、総合的な水質評価や総合指標化のために必要な水質因子の選定を行うことができる。この貯水池水質の解析では、第1主成分として、総合的な汚濁の程度や人為的な汚濁の程度、および光合成活動の影響などを反映する主成分が得られており、水域での具体的な現象との対応も明らかである。したがって、多変量を取り扱うという原点に立って、総合化だけでなく、各主成分の因子負荷量の大きさやその構成内容の検討によって、水質因子相互の量的・質的な変化過程を追うことも意味がある。

ほかに提案されている総合的な水質指標では、たとえば、海域での富栄養化の指標としての「富栄養度」がある。これは無機態の窒素およびリンとCODの3水質因子の相乗積で表わされる簡潔さを有しているが、因子数の少なさと相乗積のための因子間の相殺作用の可能性から、応用範囲は限られることになる。これに対して多変量解析法は、水質因子を多く取り入れて総合化をはかり、相対評価を主とする解析法となるため、応用範囲が広く、全体に対する個々のウェイトなど内容の検討ができるのが特色である。

## 9. 結 論

貯水池水質の分布状態変化に主成分分析を中心とする多変量解析法を適用し、水質の総合評価を試みた。各種水質の鉛直分布に注目した水深方向での層分割の妥当性を、各層における各種水質の平均値と標準偏差、水質因子間の相関係数、および主成分得点などによって明らかにした。この層分割に基づいた貯水池水質の周年変化や、典型的な夏季成層期と冬季一様期などの各層に対する主成分分析では、各主成分の大きさや構成内容の検討から、各年・各季節・流下方向の各地点についての各層の総合的な水質変化特性を把握し、その相対評価による位置づけができた。これら流入河川を含む貯水池水質に対する主成分分析結果を要約すると、以下のようになる。

(1) 最も寄与率の高い第1主成分は、夏季成層期表層の場合を除いて、総合的あるいは人為的な汚濁の程度を反映する主成分となり、この主成分得点による水塊の相対評価を行うことができた。

(2) 夏季成層期表層の場合の第1主成分は、光合成活動の影響を反映する主成分となり、植物プランクトン量と表層6水質因子からなる主成分との関係を確認した。

(3) 冬季一様期の表層と中層を含めた主成分分析では、その第1主成分得点と次年度の表層に出現する植物プランクトン量との対応関係の明白さを利用して、この第1主成分による翌年度植物プランクトンの表層出現濃度の予測も可能となる。

(4) 千苺・鳥原・布引の3貯水池水質の相対評価では、第1主成分が光合成活動の影響を反映することから、3貯水池の富栄養化進行度合の対比が明らかとなった。

(5) 流入河川水質と貯水池水質との流下方向における対応関係の解析では、貯留水の成層期中層を中心とする主流部と2流入河川水との総合的な汚濁の程度を反映する主成分得点の比較によって、ある程度まで両者の相対的な位置づけが可能となった。

(6) 主成分分析で問題となる選択する水質因子の数と内容およびサンプル数についての検討では、寄与率の最も高い第1主成分の内容にはほとんど変化のないことが、流入河川を例とした解析によって確認できた。

以上の解析は、水質の総合評価のための総合水質指標化への展開の足がかりとして、流入河川を含めた貯水池の水利用や水環境に対する水質管理に役立つものと考えられる。貯水池については選択取水の問題、流入河川については流域ブロック別の水質負荷量のウェイトの問題など

の検討に特に有効と思われる。ここではスペースの関係で省略したが、2 流入河川水質の人為的な汚濁の程度を反映する主成分と、人口密度・家畜密度・耕地面積率・山林面積率など各流域ブロック別の土地利用状態との重回帰分析によって、水質負荷量のウェイトの検討も行っている。今後は、十分なデータの整備のもとに、用いるべき水質因子や適用範囲の拡大などの検討を重ねたうえで、多変量解析法の水質環境の影響評価を含めた水質管理への応用は、十分考慮に値するものと考えられる。

最後に、本研究に対して御指導、御助言を頂いた国立公害研究所合田健先生、京都大学工学部井上頼輝教授、宗宮功助教授に感謝し、貴重な資料の提供をいただいた神戸市水道局に謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 合田・海老瀬・大島：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.
- 2) 海老瀬潜一：ダム貯水池の水質変化過程とその特性，第 21 回水理講演会論文集，pp. 51~56, 1977.
- 3) 合田・海老瀬：ダム貯水池の富栄養化とシミュレーション，土木学会論文報告集，第 263 号，pp. 49~61, 1977.
- 4) 神戸市水道局：水質試験成績，第 1~9 集，1966~1974.
- 5) 奥野忠一ほか：多変量解析法，日科技連，1971.
- 6) Shannon, E.E. & Brezonik, P.L. : Eutrophication Analysis : A Multivariate Approach, Proc. of A.S.C. E., Vol. 98, No. SA 1, pp. 37~57, 1972.
- 7) 安田正志ほか：河川における水質環境の評価に関する研究，第 13 回衛生工学研究討論会講演論文集，pp. 13~18, 1977.
- 8) 土木学会：水質変化基本調査報告，pp. 1~54, 1975.  
(1977.5.21・受付)