# 9　公共用水域測定結果からみた河川汚濁についての一考察

## －日野川・清水山橋地点における水質変動について－

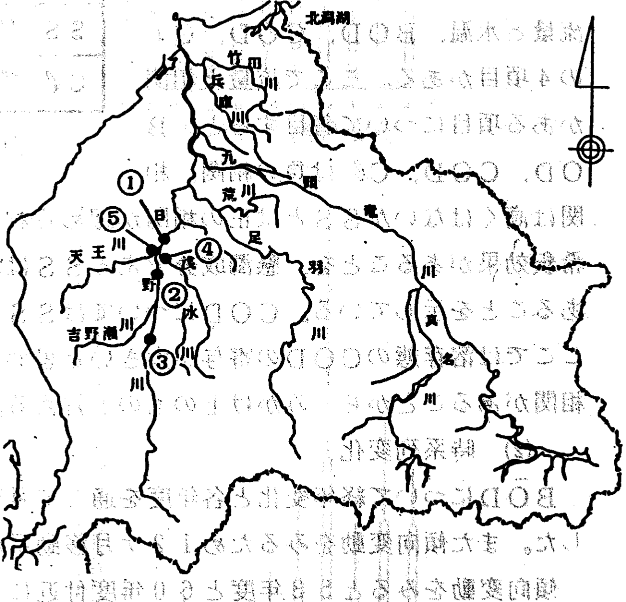
高田敏夫，内田利勝，富山　猛

## Ⅰ　緒　言

近年の公共用水域の水質汚濁状況をみると，一部の湖沼や都市近郊河川を除いて，その他の水域ではほぼ環境基準を達成しているところであるが，県内主要河川では唯一日野川本川の清水山橋地点において，しばしばBODの環境基準が達成されない状況が出現している。本報ではその要因を探るため，公共用水域の常時監視データを使って，清水山橋地点の水質変動ならびに浅水川，天王川が合流する合流点における状況の解析をおこない若干の知見を得たので報告する。

## Ⅱ　調査地点の概要

日野川は岐阜県との県境に近い夜叉ケ池付近に源を発し，西北に流れて今庄町で田倉川を合流し，以後北へ武生市，鯖江市，福井市を貫流し福井平野で九頭竜川に合流する。その間，吉野瀬川，天王川，浅水川，足羽川等を合流する流路延長71.5㎞，流域面積1275㎢の1級河川である。今回の調査地点である清水山橋①は日野川下流部の浅水川，天王川の合流点に位置する環境基準点（B類型）である。また水質解析のためデータを使用した地点は清水山橋上流では糺橋②（B類型），豊橋③（A類型），合流支派川の浅水川は出作橋④（D類型），天王川は末端⑤（B類型）である。




図－1　調査地点

## Ⅲ　使用データ

### 1.　清水山橋

期間：昭和48年4月から昭和63年3月までの月1回の測定データ

項目：水温，PH，DO，BOD，COD，SS，Cℓ，流量*

*昭和51年1月から昭和52年12月，昭和62年1月から昭和63年3月は欠測

### 2.　糺橋、豊橋、出作橋、天王川末端

期間：昭和60年4月から昭和63年2月までの隔月1回の測定データ

項目：水温，PH，DO，BOD，COD，SS，Cℓ

なお，主成分分析等の解析にあたっては，確立プロット法[1]により正規性の検定をおこない，水温，PH，DOは原データを，BOD，COD，SS，Cℓ，流量は自然対数変換したデータを用いた。

また異常値については調査時の天候や流況を表現している場合が多いため，棄却はおこなわなかった。

## Ⅳ 結果と考察

### 1. 清水山橋における水質の概況

(1) 水質データの統計値ならびに項目間の相関

過去15年間の水質データの統計値を表－1に，各項目間の相関係数を表－2に示した。表－2の左下段は流量データがそろっている時の相関係数である。

表－1 水質データの統計値

| | n | 平均値 | 最小値 | 最大値 | 標準偏差 | 変動係数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水 温* | 180 | 14.7 | 1.3 | 30.5 | 7.76 | 0.527 |
| PH | 180 | 7.18 | 6.4 | 7.8 | 0.187 | 0.026 |
| DO ** | 180 | 8.90 | 2.3 | 13 | 2.37 | 0.266 |
| BOD** | 180 | 2.72 | 0.5 | 17 | 1.99 | 0.730 |
| COD** | 180 | 5.00 | 1.2 | 18 | 3.07 | 0.613 |
| SS ** | 180 | 14.1 | 1 | 81 | 12.0 | 0.852 |
| Cℓ ** | 180 | 14.4 | 7.1 | 28.6 | 4.16 | 0.288 |

単位：*℃，**㎎／ℓ

各項目間の相関をみると，水温とDOが負で，BODとCODが正で最も高い相関を示しており，その他，正で比較的高い相関を示すものには流量とDO，水温とCODおよびBOD，負で比較的高い相関を示すものには，DOとCODおよびBOD，流量と水温，BOD，COD，Cℓの4項目がある。ここで流量と相関がある項目について着目すると，BOD，COD，Cℓは負の相関，相関は高くはないがSSとは正の相関が認められる。このことはBOD等の溶存成分は流量の増加による希釈効果があることを，懸濁成分であるSSは増水による河床堆積物の帰流や降雨時の流出物の影響があることを示している。CODについてはSSと相関が認められ懸濁態のCODの寄与が考えられるがここでは溶存態のCODの寄与が大きいと思われる。ただDOとの相関については，流量と水温に負の相関があることから，みかけ上のものと言える。

(2) 時系列変化

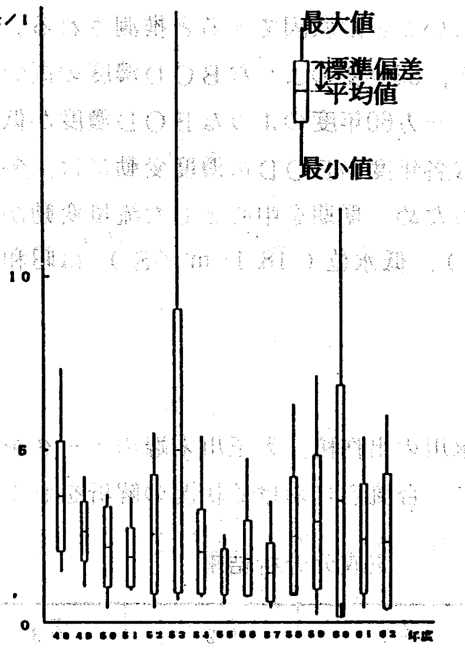
BODについて経年変化と各年度を通して月別に集計した経月変化を図－2，図－3に箱ヒゲ図で示した。また傾向変動をみるため12ケ月移動平均を図－4に示した。

傾向変動をみると53年度と60年度付近にピークがみられるが，全年度を通じては特に上昇傾向も下降傾向もみられないように思われる。また図－2の箱ヒゲ図をみると平均値の経年変化は同様な変動を示しているが，53年度と60年度の特異な年度を除けば，ここ数年は濃度のバラツキが大きいように思える。

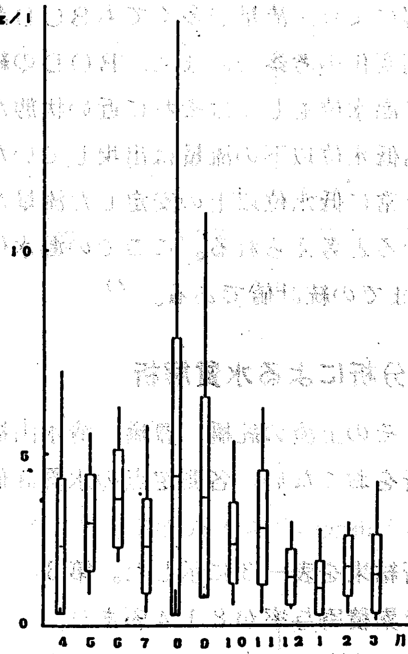
表－2 各項目間の相関係数

| | 水 温 | PH | DO | BOD | COD | SS | Cℓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水温 | | 0.071 | －0.872 * | 0.526 * | 0.599 * | 0.059 | 0.255 * | － |
| PH | 0.153 | | 0.013 | 0.059 | －0.088 | －0.165 | 0.076 | － |
| DO | －0.857* | －0.036 | | －0.662 * | －0.791 * | －0.148 | －0.318 * | － |
| BOD | 0.490* | 0.091 | －0.638 * | | 0.817 * | 0.146 | 0.440 * | － |
| COD | 0.566* | －0.052 | －0.779 * | 0.801 * | | 0.282 * | 0.468 * | － |
| SS | 0.053 | －0.187 | －0.172 | 0.127 | 0.307 * | | －0.132 | － |
| Cℓ | 0.178 | 0.165 | －0.235 * | 0.423 * | 0.408 * | －0.131 | | － |
| 流量 | －0.636* | －0.144 | 0.672 * | －0.638 * | －0.638 * | 0.277 * | －0.561 * | |

BOD以下流量までの項目は自然対数変換データを使用
*：1％有意　右上：n＝180　左下：n＝141

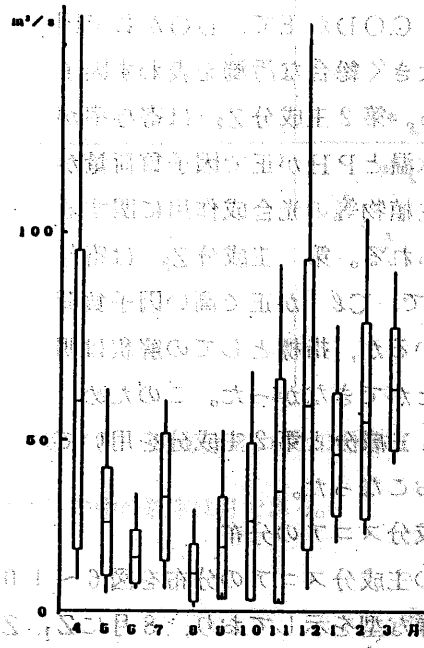



図－2　BODの経年変化

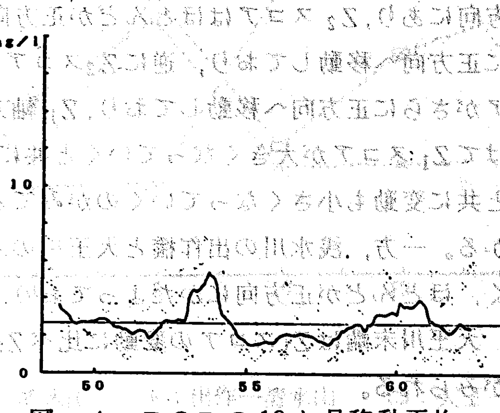



図－3　BODの経月変化

次に月別の変化をみると，8月を中心とした夏期に濃度が高く，12月から3月にかけた冬期に濃度が低いという季節変動を示している。また夏期は濃度のバラツキが大きく，冬期は小さい。この季節変動の要因はBOD濃度が流量と高い負の相関があることからわかるように，流量の変動に大きく帰因していると思われる。図－5にBOD測定時の流量の月別変化を箱ヒゲ図で示したが，平均値でみると，梅雨期の7月を除いて，夏期は流量が少なく，冬期ならびに3，4月の雪解け時の流量が多いという季節変動を示している。これはBODの月別変化と逆方向に非常によい対応を示している。また月別に流量とBOD濃度のバラツキをみてみると，冬期の流量の平均値が高い時はバラツキが大きくても，BOD濃度は低くバラツキも小さい。一方，8月のように流量の平均値が低い時はバラツキが小さくても，BOD濃度は大きなバラツキを示している。これらのことは流量が多くなると，ある程度のところでBOD濃度はあまり変化しなくなり，流量が少ないとわずかの変動でもBOD濃度は大きく変化することを示唆している。なお4月は流量が




図－5　流量の経月変化




図－4　BODの12ケ月移動平均

12月とほぼ同程度であるのに対して，ＢＯＤ濃度は12月より高く，バラツキも大きいのは，田植時期の落水等の影響により，流量が多くてもＢＯＤ濃度が低くならないことが原因であると推測される。

以上の月別変化の考察をふまえ，ＢＯＤの経年変化をみると，53年度のようなＢＯＤ濃度の高い年は，夏期を中心に渇水位もしくはそれに近い状態が出現しており，一方60年度のようなＢＯＤ濃度が低い年は，夏期にも低水位以下の流量は出現していない。このような各年度のＢＯＤの濃度変動には，冬期は降雪等により常に低水位以上の安定した流量が確保されているため，夏期を中心とした流量変動が大きく寄与していると考えられる。ここでの渇水位（ 5.27 ㎥／Ｓ），低水位（ 18.13 ㎥／Ｓ） は昭和41年から58年までの統計値である。[2)]

## 2. 主成分分析による水質解析

清水山橋，その上流の紀橋，豊橋，清水山橋に合流する浅水川の出作橋，天王川末端のデータを用いて主成分分析をおこない，各測定点の水質評価を試みると共に，合流点における状況の解析をおこなった。

主成分分析結果を表－３に示した。第３主成分までで累積寄与率が８１.４％あり，ここまでで水質変動を充分説明できると考えられる。第１主成分 $Z_1$ は寄与率が４６.７％，ＢＯＤ，ＣＯＤが正で，ＤＯが負で因子負荷量が大きく総合な汚濁を表わす因子と考えられる。第２主成分 $Z_2$ は寄与率が２４.０％，水温とＰＨが正で因子負荷量が大きく，水生植物等の光合成作用に関する因子と考えられる。第３主成分 $Z_3$ は寄与率が 10.７％で，Cℓ が正で高い因子負荷量を示しているが，指標としての解釈は明確にすることができなかった。このため，ここでは第１主成分と第２主成分を用いて水質解析をおこなった。

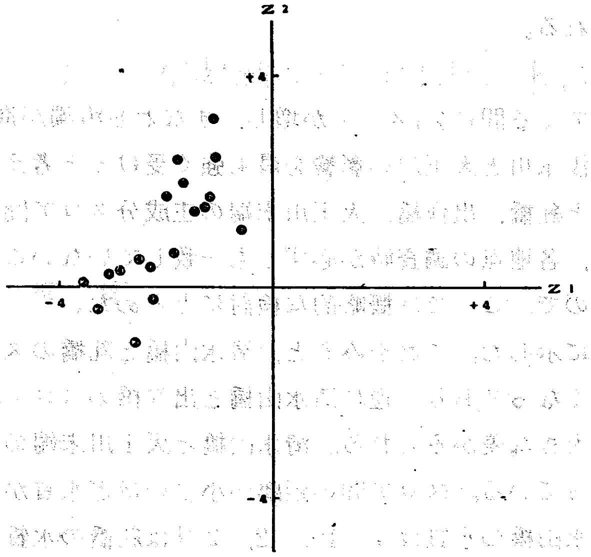
表－３　主成分分析結果

| | $Z_1$ | | $Z_2$ | | $Z_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 固有ベクトル | 因子負荷量 | 固有ベクトル | 因子負荷量 | 固有ベクトル | 因子負荷量 |
| 水温 | 0.299 | 0.541 | 0.574 | 0.744 | 0.193 | 0.167 |
| ＰＨ | －0.174 | －0.315 | 0.638 | 0.826 | －0.340 | －0.294 |
| ＤＯ | －0.439 | －0.794 | －0.338 | －0.438 | －0.161 | －0.139 |
| ＢＯＤ | 0.430 | 0.778 | －0.068 | －0.088 | －0.467 | －0.404 |
| ＣＯＤ | 0.495 | 0.895 | －0.016 | －0.021 | －0.277 | －0.240 |
| ＳＳ | 0.341 | 0.617 | －0.357 | －0.463 | －0.293 | －0.253 |
| Cℓ | 0.377 | 0.682 | －0.134 | －0.173 | 0.664 | 0.575 |
| 固有値 | 3.27 | | 1.68 | | 0.75 | |
| 寄与率(%) | 46.7 | | 24.0 | | 10.7 | |
| 累積寄与率(%) | 46.7 | | 70.7 | | 81.4 | |

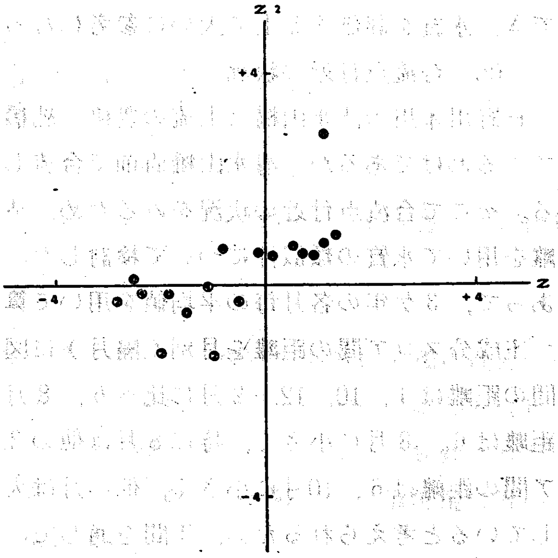
### (1) 主成分スコアの分布

各地点毎の主成分スコアの分布を図６～１０に示した。日野川本川の清水山橋，紀橋，豊橋は分布型としては同様な型を示しており，８月に $Z_1$, $Z_2$ スコアが共に大きく，12，２月に $Z_1$, $Z_2$ スコアが共に小さくなるという季節変動を示している。この中で最上流に位置する豊橋は $Z_1$ スコアが小さく，すべて負方向にあり，$Z_2$ スコアはほとんどが正方向にある。その下流の紀橋では $Z_1$ スコアが豊橋に比べ全体的に正方向へ移動しており，逆に $Z_2$ スコアは負方向へ移動している。さらに下流の清水山橋では $Z_1$ スコアがさらに正方向へ移動しており，$Z_1$ 軸方向の変動が大きくなっている。このように上流から下流にかけて $Z_1$ スコアが大きくなっていくと共に変動も大きくなっていき，逆に $Z_2$ スコアは小さくなっていくと共に変動も小さくなっていくのがみてとれ，豊橋から紀橋，清水山橋へと汚濁が進んでいくことがわかる。一方，浅水川の出作橋と天王川の末端は違った分布型を示している。出作橋では $Z_1$ スコアが大きく，ほとんどが正方向にかたよっており，汚濁が強いことを示している。また季節変動も明確ではない。天王川末端は $Z_1$ スコアの変動に比べ $Z_2$ スコアの変動が大きく，負方向にかたよっているという特徴がみられる。

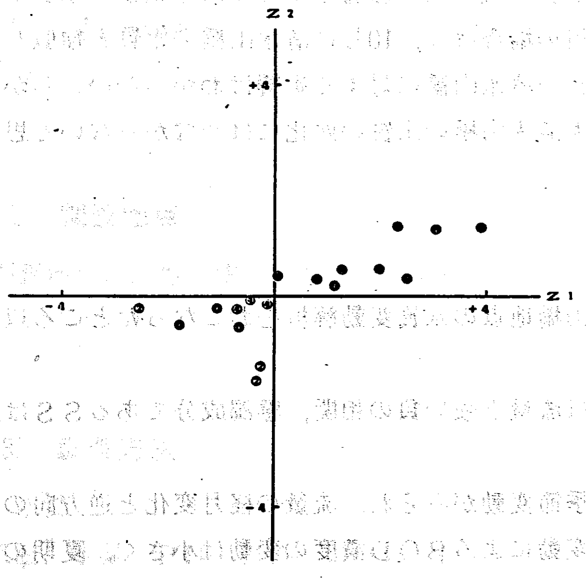
このように主成分スコアの分布型をみることによって，各地点の水質変動パターンをとらえることが



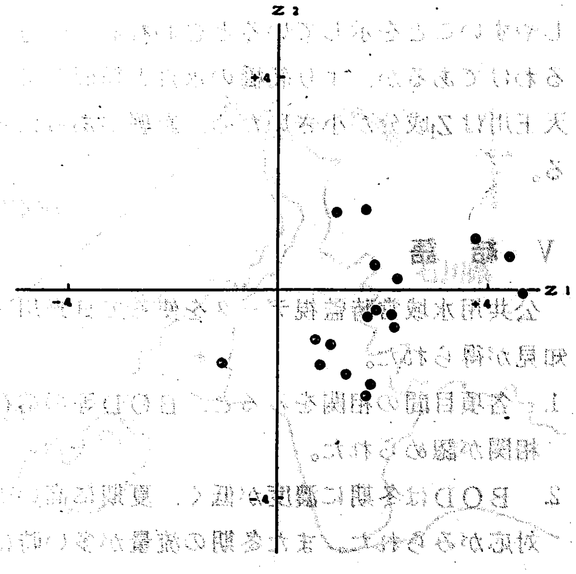

図－6　主成分スコアの分布（豊橋）




図－7　主成分スコアの分布（糺橋）

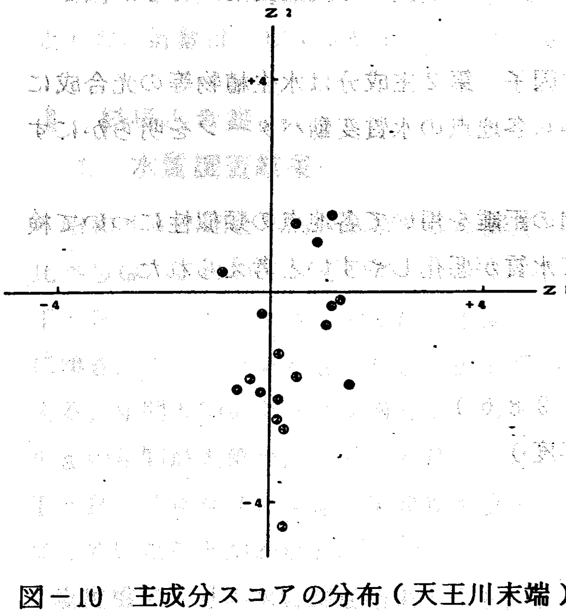



図－8　主成分スコアの分布（清水山橋）

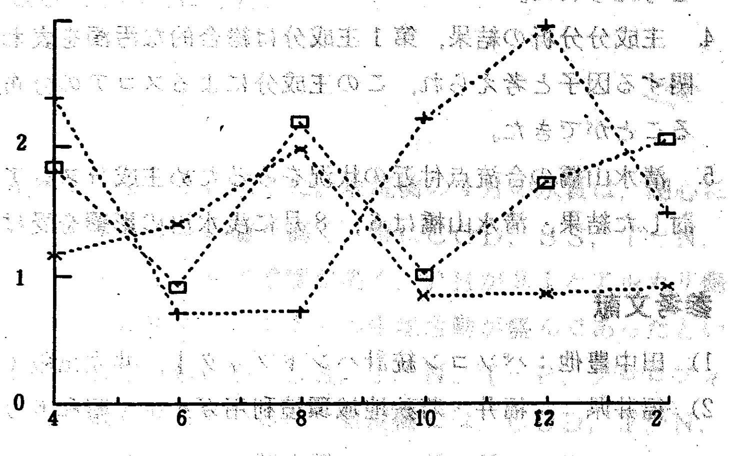



図－9　主成分スコアの分布（出作橋）

注：○の中の数字は月である。




図－10　主成分スコアの分布（天王川末端）




×：糺ー清水山　　＋：出作ー清水山　　□：天王ー清水山

でき，水質を評価する上で大いに参考になると思われる。

(2) 合流点付近の状況

日野川本川の清水山橋は上流の豊橋，糺橋と下ってくる間に$Z_1$スコアが増し，すなわち汚濁が進んでくるわけであるが，清水山橋直前で合流してくる浅水川と天王川の影響を最も強く受けると考えられる。そこで合流点付近の状況をみるため，清水山橋と糺橋，出作橋，天王川末端の主成分スコア間の距離を用いて水質の類似性について検討した。しかし，各地点の調査時が必ずしも一致していないこともあって，３ケ年の各月毎の平均値を用いて算出したので，ここでは概略的な検討にとどめた。

主成分スコア間の距離を月別（隔月）に図－１１に示した。これをみると，清水山橋と糺橋のスコア間の距離は４，10，12，２月に比べ６，８月に大きくなっており，逆に清水山橋と出作橋のスコア間の距離は６，８月に小さく，特に８月は他の２地点と大きな差がみられる。清水山橋と天王川末端のスコア間の距離は６，10月に小さく，他の月は大きくなっている。スコア間の距離が小さいほど水質が類似していると考えられるため，年間を通してみると清水山橋の水質は４，10，12，２月は糺橋の水質に最も類似しており，６，８月は出作橋の水質に最も類似している。このことは６，８月の低水位もしくは渇水位に近い時期に$Z_1$成分の大きい，すなわち汚濁が強い浅水川の影響を受けて清水山橋の水質が悪化しやすいことを示していると思われる。一方，天王川の場合は６，10月に清水山橋の水質と類似しているわけであるが，より糺橋の水質と類似しているため，清水山橋に対する影響はわからない。しかし，天王川は$Z_1$成分が小さいため，影響があったとしても清水山橋の水質の悪化にはつながらないと思われる。

## V 結 語

公共用水域常時監視データを使って日野川・清水山橋地点の水質変動解析をおこなったところ以下の知見が得られた。

1. 各項目間の相関をみると，ＢＯＤ等の溶存成分は流量と強い負の相関，懸濁成分であるＳＳは正の相関が認められた。
2. ＢＯＤは冬期に濃度が低く，夏期に高いという季節変動がみられ，流量の経月変化と逆方向のよい対応がみられた。また冬期の流量が多い時は流量変動によるＢＯＤ濃度の変動は小さく，夏期の流量が少ない時は流動変動が小さくてもＢＯＤ濃度の変動が大きいことが示唆された。
3. 過去15年間のＢＯＤ濃度の傾向変動をみると，53年度と60年度にピークがみられたが，全年度を通しては上昇傾向も下降傾向もないように思えた。また経年変化の変動要因も流量変動の寄与が大きいと考えられた。
4. 主成分分析の結果，第１主成分は総合的な汚濁を表わす因子，第２主成分は水生植物等の光合成に関する因子と考えられ，この主成分によるスコアの分布から各地点の水質変動パターンを明らかにすることができた。
5. 清水山橋の合流点付近の状況をみるため主成分スコア間の距離を用いて各地点の類似性について検討した結果，清水山橋は６，８月に浅水川の影響を受けて水質が悪化しやすいと考えられた。

## 参考文献

1) 田中豊他：パソコン統計ハンドブックⅠ，共立出版（１９８６）
2) 福井県　：福井・若狭地域環境利用ガイド（昭和６０年度）