

(3) 檜原湿原の水質について

高橋 秋彦

1 はじめに

檜原湿原は、県北部脊振山系に位置し九州でも貴重な植物群落を有する湿原である。

昭和51年に県自然環境保全地域に指定され、昭和57年度より水質環境調査を行なっている。

その調査結果については以前にも報告されているが^{(1) (2)}、10数年間の水質の変動など湿原の水質環境の把握をするため、これまでに蓄積された水質データをもとに分析を行ったので報告する。

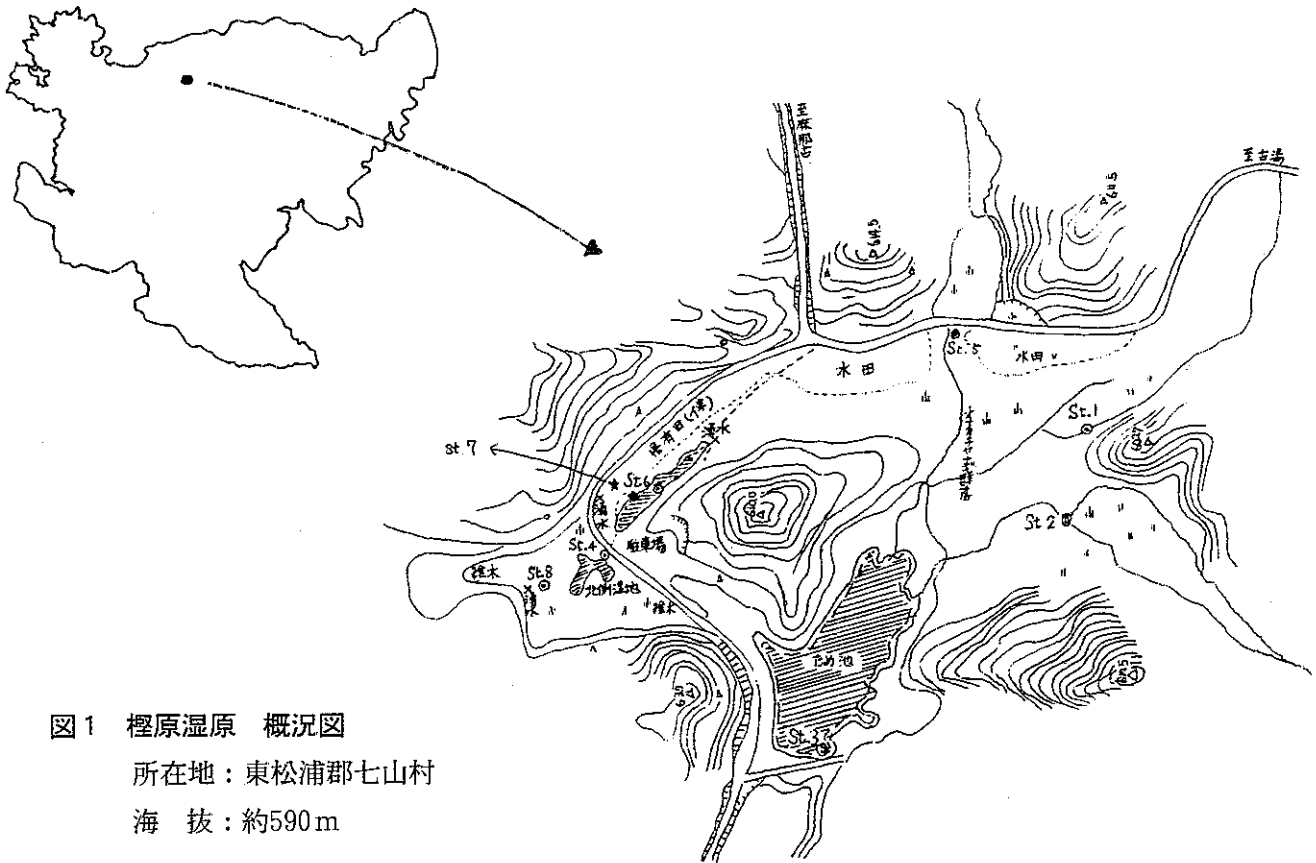


図1 檜原湿原 概況図

所在地：東松浦郡七山村

海抜：約590m

2 解析資料

測定地点は図1に示す7地点である。ST1、2、5は、周辺部からの流入水、ST4、6、7は湿原内の水、そしてST3はこのエリアから下流部へ流すためのため池である。ST7については★印の地点では数年前から水深が浅く採水不可能となり、◆印へ移動した。

採水時期は、春（4月）、夏（7月）、秋（10月）、冬（1月）の年四回であり、採水は主として10時から12時の間に行なっている。

解析対象項目は、水温、pH、DO、BOD、COD、SS、T-N、T-P、溶存性鉄（以下S-Feと略す）の9項目である。

期間はST1～ST5は、昭和57年から平成5年まで、ST6は、昭和58年の夏から、そしてST7は、昭和58年と昭和60年夏から実施して

いる。これは測定地点の変更や、欠測があったためである。前述したようにST7は測定地点が移動しているが、このエリアの水質を代表してるとして、同一の測定地点としてあつかった。

表1に各地点ごとの統計データを示す。

項目間の関係を見るために、地点ごとに単相関行列を求めた。算出に先立って全測定データを項目ごとについて母集団をつくり、適宜対数変換を行った後、母集団の分布を図示した。

ついで明らかに異常値と思われたデータを含むデータ系列は対象から除外した。また欠測データが含まれる系列についても除外した。

表1 各地点毎の統計データ及び単相関行列

| ST1 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水温 | 47 | 13.1 | 4.61 | 0.67 | 2.5 | 20.5 |
| pH | 46 | 6.6 | 0.25 | 0.04 | 6.2 | 7.3 |
| DO | 47 | 9.2 | 1.08 | 0.16 | 7.4 | 11.8 |
| BOD | 46 | 0.7 | 0.66 | 0.1 | 0 | 2.6 |
| COD | 47 | 1.8 | 0.94 | 0.14 | 0 | 4.4 |
| SS | 47 | 2.8 | 2.9 | 0.42 | 0 | 14.4 |
| T-N | 47 | 0.37 | 0.3773 | 0.055 | 0.048 | 2.100 |
| T-P | 47 | 0.026 | 0.0184 | 0.0027 | 0.005 | 0.120 |
| S-Fe | 45 | 0.44 | 0.175 | 0.026 | 0.04 | 0.86 |

| ST2 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水温 | 47 | 12.8 | 4.8 | 0.7 | 1.5 | 24.5 |
| pH | 46 | 6.8 | 0.25 | 0.04 | 6.0 | 7.4 |
| DO | 47 | 9.7 | 1.14 | 0.17 | 7.7 | 11.9 |
| BOD | 46 | 0.7 | 0.67 | 0.1 | 0 | 2.7 |
| COD | 47 | 1.4 | 0.77 | 0.11 | 0 | 3.5 |
| SS | 47 | 4 | 4.76 | 0.7 | 0 | 19.4 |
| T-N | 47 | 0.159 | 0.0824 | 0.012 | 0.022 | 0.330 |
| T-P | 47 | 0.022 | 0.0165 | 0.0024 | 0.006 | 0.089 |
| S-Fe | 45 | 0.18 | 0.104 | 0.016 | 0 | 0.61 |

| ST3 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水温 | 47 | 14.1 | 6.75 | 0.98 | 2.1 | 28.0 |
| pH | 46 | 6.6 | 0.31 | 0.05 | 6.1 | 7.2 |
| DO | 47 | 8.3 | 1.84 | 0.27 | 4.8 | 11.5 |
| BOD | 46 | 1.3 | 0.6 | 0.09 | 0.6 | 3.5 |
| COD | 47 | 3.1 | 1.22 | 0.18 | 1.4 | 7.7 |
| SS | 47 | 4.6 | 2.9 | 0.42 | 0.2 | 13.0 |
| T-N | 47 | 0.293 | 0.1836 | 0.0268 | 0.047 | 1.052 |
| T-P | 47 | 0.032 | 0.0243 | 0.0035 | 0.007 | 0.131 |
| S-Fe | 45 | 0.46 | 0.264 | 0.039 | 0.11 | 1.24 |

| ST4 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水温 | 47 | 14.8 | 8.18 | 1.19 | 1.5 | 29.0 |
| pH | 46 | 6.1 | 0.28 | 0.04 | 5.6 | 7.0 |
| DO | 47 | 7.3 | 1.67 | 0.24 | 4.1 | 10.5 |
| BOD | 46 | 0.7 | 0.64 | 0.09 | 0 | 2.6 |
| COD | 47 | 4.3 | 1.84 | 0.27 | 1.6 | 10.7 |
| SS | 47 | 3.7 | 4.15 | 0.61 | 0 | 20.0 |
| T-N | 47 | 0.199 | 0.1472 | 0.0215 | 0.035 | 0.856 |
| T-P | 47 | 0.015 | 0.0193 | 0.0028 | 0 | 0.130 |
| S-Fe | 45 | 1.02 | 0.766 | 0.113 | 0.14 | 3.06 |

| N=43 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水温 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水温 | 1 | 0.226 | -0.798 | -0.36 | 0.357 | 0.435 | -0.226 | 0.251 | 0.121 |
| pH | | 1 | -0.012 | -0.061 | 0.321 | 0.213 | 0.259 | 0.009 | 0.437 |
| DO | | | 1 | 0.227 | -0.338 | -0.494 | 0.182 | -0.276 | -0.141 |
| BOD | | | | 1 | 0.15 | -0.022 | 0.13 | 0.123 | 0.259 |
| COD | | | | | 1 | 0.695 | 0.134 | 0.259 | 0.239 |
| SS | | | | | | 1 | 0.054 | 0.324 | 0.045 |
| T-N | | | | | | | 1 | 0.235 | 0.242 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.08 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| N=43 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水温 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水温 | 1 | 0.033 | -0.842 | -0.605 | 0.389 | 0.331 | -0.042 | 0.154 | 0.133 |
| pH | | 1 | 0.149 | -0.135 | -0.051 | 0.138 | -0.036 | 0.102 | 0.283 |
| DO | | | 1 | 0.666 | -0.412 | -0.388 | 0.039 | -0.202 | -0.126 |
| BOD | | | | 1 | -0.123 | -0.172 | 0.239 | -0.101 | -0.109 |
| COD | | | | | 1 | 0.667 | 0.295 | 0.575 | 0.304 |
| SS | | | | | | 1 | 0.219 | 0.499 | 0.23 |
| T-N | | | | | | | 1 | 0.194 | 0.186 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.078 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| N=43 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水温 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水温 | 1 | 0.054 | -0.768 | -0.23 | 0.566 | 0.267 | -0.375 | 0.406 | 0.419 |
| pH | | 1 | 0.362 | -0.009 | 0.084 | 0.035 | 0.266 | 0.095 | 0.165 |
| DO | | | 1 | 0.333 | -0.456 | -0.337 | 0.4 | -0.401 | -0.386 |
| BOD | | | | 1 | 0.219 | 0.098 | 0.396 | 0.186 | -0.036 |
| COD | | | | | 1 | 0.408 | 0.017 | 0.689 | 0.359 |
| SS | | | | | | 1 | 0.012 | 0.223 | 0.23 |
| T-N | | | | | | | 1 | -0.054 | -0.068 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.38 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| N=43 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水温 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水温 | 1 | 0.338 | -0.692 | -0.462 | 0.698 | 0.27 | 0.047 | 0.309 | 0.333 |
| pH | | 1 | 0.044 | -0.194 | 0.158 | -0.012 | 0.213 | 0.217 | 0.138 |
| DO | | | 1 | 0.28 | -0.601 | -0.202 | -0.057 | -0.119 | -0.635 |
| BOD | | | | 1 | 0.01 | 0.261 | 0.286 | -0.078 | 0.038 |
| COD | | | | | 1 | 0.711 | 0.368 | 0.169 | 0.663 |
| SS | | | | | | 1 | 0.222 | 0.147 | 0.322 |
| T-N | | | | | | | 1 | -0.081 | 0.084 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.112 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| ST5 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水質 | 47 | 13.2 | 5.74 | 0.84 | 2.7 | 22.6 |
| pH | 46 | 6.6 | 0.26 | 0.04 | 6.0 | 7.2 |
| DO | 47 | 9.4 | 1.46 | 0.21 | 6.6 | 11.8 |
| BOD | 46 | 0.8 | 0.78 | 0.11 | 0 | 3.7 |
| COD | 47 | 2.3 | 1.13 | 0.16 | 0.8 | 5.6 |
| SS | 47 | 3.5 | 4.27 | 0.62 | 0 | 19.0 |
| T-N | 47 | 0.261 | 0.2368 | 0.0345 | 0.030 | 1.001 |
| T-P | 47 | 0.033 | 0.1079 | 0.0167 | 0 | 0.750 |
| S-Fe | 45 | 0.32 | 0.189 | 0.028 | 0.07 | 0.86 |

| N=43 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水質 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水質 | 1 | 0.124 | -0.9 | -0.542 | 0.494 | 0.476 | -0.049 | 0.124 | 0.227 |
| pH | | 1 | 0.129 | -0.003 | -0.216 | 0.264 | -0.189 | -0.063 | -0.267 |
| DO | | | 1 | 0.665 | -0.646 | -0.387 | 0.133 | -0.071 | -0.418 |
| BOD | | | | 1 | -0.189 | -0.242 | 0.167 | -0.2 | -0.208 |
| COD | | | | | 1 | 0.423 | 0.114 | 0.209 | 0.442 |
| SS | | | | | | 1 | 0.173 | 0.278 | 0.002 |
| T-N | | | | | | | 1 | 0.305 | -0.224 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.136 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| ST6 | | | | | | |
|------|----|-------|-------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水質 | 42 | 14.1 | 8.49 | 1.31 | 0.6 | 28.0 |
| pH | 41 | 6.1 | 0.3 | 0.06 | 5.3 | 7.2 |
| DO | 42 | 6.4 | 2.1 | 0.33 | 1.3 | 10.9 |
| BOD | 41 | 1.1 | 0.7 | 0.12 | 0 | 3.2 |
| COD | 42 | 5.2 | 2.2 | 0.34 | 1.5 | 10.3 |
| SS | 42 | 7.4 | 5.7 | 0.89 | 0 | 22.8 |
| T-N | 42 | 0.218 | 0.106 | 0.0165 | 0.046 | 0.610 |
| T-P | 42 | 0.025 | 0.092 | 0.0143 | 0 | 0.610 |
| S-Fe | 40 | 1.16 | 0.79 | 0.126 | 0.17 | 3.24 |

| N=38 | | | | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水質 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水質 | 1 | 0.392 | -0.385 | -0.169 | 0.621 | 0.383 | 0.315 | 0.137 | 0.234 |
| pH | | 1 | 0.084 | -0.178 | 0.264 | 0.172 | 0.159 | 0.046 | 0.212 |
| DO | | | 1 | 0.123 | -0.606 | -0.539 | -0.317 | 0.067 | -0.576 |
| BOD | | | | 1 | 0.106 | -0.014 | 0.086 | -0.083 | -0.227 |
| COD | | | | | 1 | 0.653 | 0.462 | -0.022 | 0.606 |
| SS | | | | | | 1 | 0.359 | -0.131 | 0.467 |
| T-N | | | | | | | 1 | 0.612 | 0.294 |
| T-P | | | | | | | | 1 | 0.074 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

| ST7 | | | | | | |
|------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| | N | MEAN | SD | SE | MIN | MAX |
| 水質 | 38 | 14.1 | 6.92 | 1.12 | 1.6 | 26.0 |
| pH | 37 | 6.0 | 0.39 | 0.06 | 5.3 | 6.9 |
| DO | 38 | 7.6 | 2.13 | 0.34 | 1.2 | 10.7 |
| BOD | 37 | 1.0 | 0.95 | 0.16 | 0 | 3.7 |
| COD | 38 | 4.1 | 2.83 | 0.46 | 1.0 | 16.8 |
| SS | 38 | 10.4 | 14.67 | 2.38 | 0.2 | 83.0 |
| T-N | 38 | 0.218 | 0.1641 | 0.0266 | 0.008 | 0.830 |
| T-P | 38 | 0.013 | 0.019 | 0.0031 | 0 | 0.110 |
| S-Fe | 36 | 0.54 | 0.775 | 0.129 | 0 | 3.92 |

| N=33 | | | | | | | | | |
|------|----|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水質 | pH | DO | BOD | COD | SS | T-N | T-P | S-Fe | |
| 水質 | 1 | 0.13 | -0.586 | -0.268 | 0.586 | 0.4 | 0.262 | 0.17 | 0.383 |
| pH | | 1 | 0.275 | -0.206 | -0.073 | -0.163 | 0 | -0.034 | 0.054 |
| DO | | | 1 | 0.127 | -0.643 | -0.497 | -0.171 | -0.01 | -0.157 |
| BOD | | | | 1 | 0.081 | -0.029 | 0.211 | -0.07 | 0.034 |
| COD | | | | | 1 | 0.69 | 0.753 | 0.295 | 0.478 |
| SS | | | | | | 1 | 0.567 | 0.334 | 0.079 |
| T-N | | | | | | | 1 | 0.089 | 0.457 |
| T-P | | | | | | | | 1 | -0.054 |
| S-Fe | | | | | | | | | 1 |

3 結果及び考察

1) pHについて

図2に年平均値の経年変化を示す。

湿原内のST4、6、7は常に流入水路及びため池のpHを下回って推移しており弱酸性側に傾いている。椋原湿原は、腐植質のため酸性に傾いていると考えられるが、pHの変動が湿原の植生に影響を与えるかどうかについては継続的な調査が行われていないため明らかではない。経年変化はS56年から61年まで低下傾向にありその後S63年にかけて上昇する傾向は、全地点に共通して見られた。

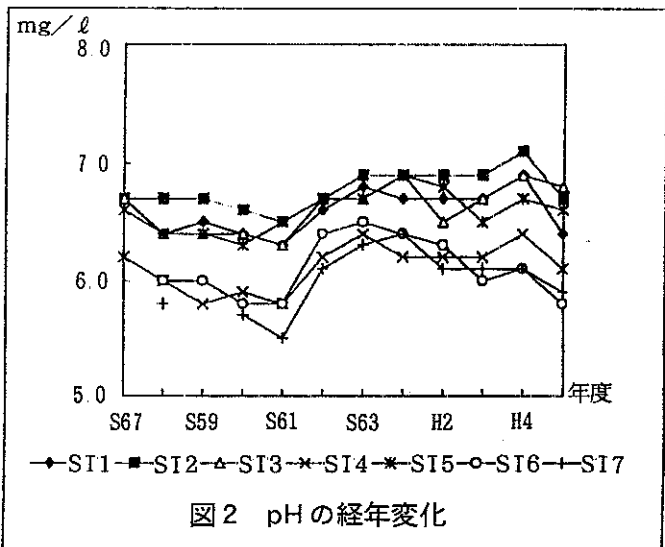


図2 pHの経年変化

2) S-Feについて

図3に年平均調査の経年変化を示す。

ST4、6、7は非常に高い値となっている。湿原内の土壌は湿潤状態にあるため嫌氣的であり酸化鉄の還元が起こると言われる³⁾ことを裏付けた結果といえる。

ST1は他の水路ST2、5より高い値となっている。また、ST3についても高い値となっている。この原因としては、地質的なものか集水域に腐植質が堆積して還元状態を作り出していることが考えられる。

経年変化はほぼ全地点で値が上昇しており、とくに湿原内の3カ所は著しい。

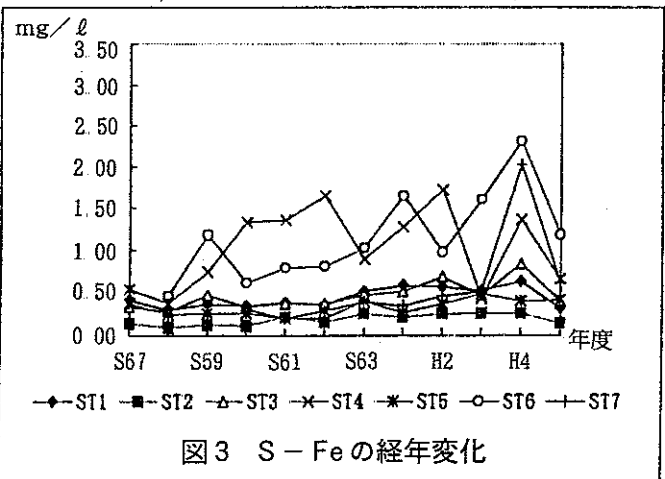


図3 S-Feの経年変化

3) BOD

図4-1、2に季節変動を含めた時系列データを示す。

全地点が良く似た挙動を示しているが、冬と春が高くなっている。これは水温が低いため微生物の活動が不活発であるためと考えられる。

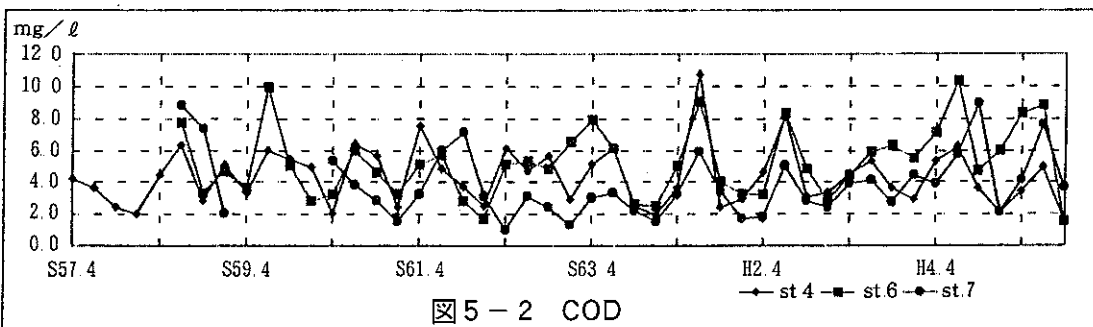
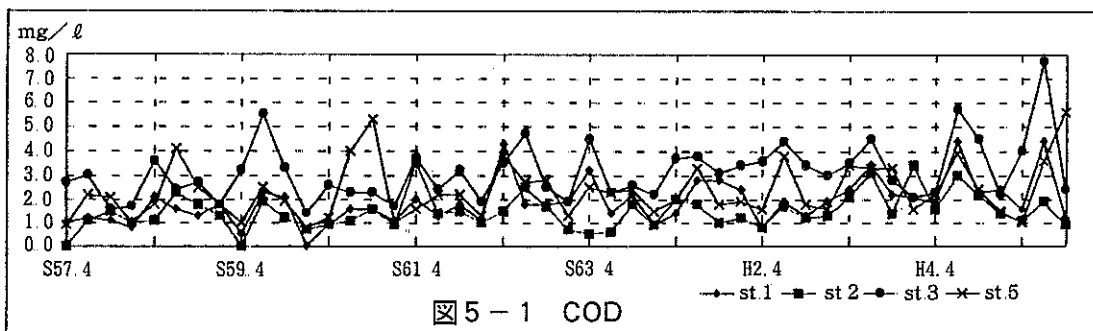
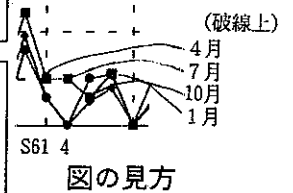
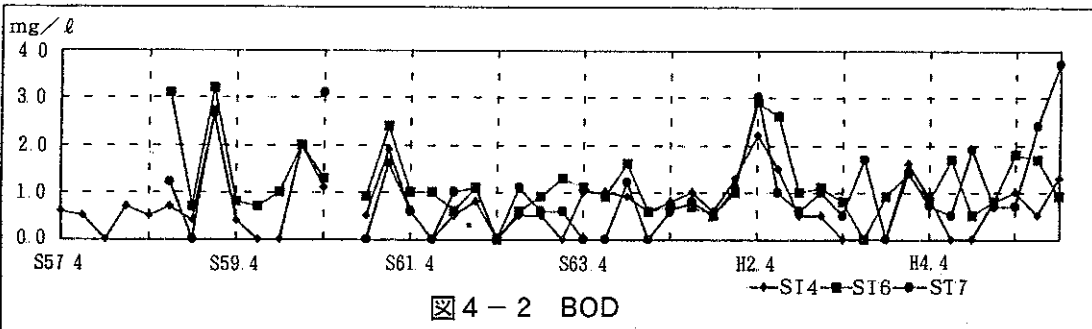
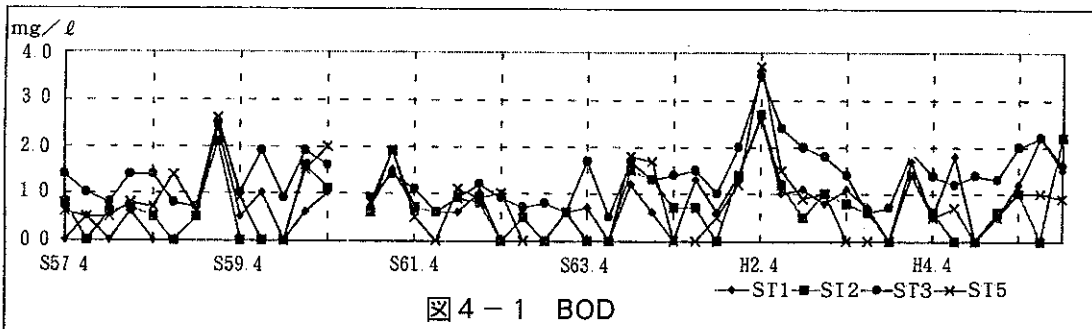
ND (0.5mg/l未満) となる試料の割合が全体の10%を越えており、より細かい水質の変化をつかみきれない。地点間の明瞭な差は見られないが、ST3は他の地点より高い値で推移している。

4) COD

図5-1、2に時系列データを示す。

全地点ともに季節変動が大きい。湿原内のST4、6、7は流入水路に比べて常に高い値で推移している。

BODとCODは、その挙動がほとんど一致していない。これはBOD値あるいはCOD値どちらか一方を取り上げて有機汚濁指標とすることは、十分でないことを示唆している。全地点で夏場に値が高くなる傾向があり、SSと高い相関がある。



5) SS

図6-1、2に時系列データを示す。

春または夏に高い値を示す傾向にあるが、全体的に値は変動が大きい。SI7は、その傾向が顕著だが、水深が浅いために欠測があり、測定地点の移動をおこなっても採水時の底質の巻き上げがSSの上昇につながった可能性がある。

6) T-N

図7-1、2に時系列データを示す。

ST1、SI5の流入水がかなり高い値を示している。その傾向は、冬から春に多く見られ、ST1、3では近年増加の傾向にある。また地点間の単相関分析結果によると、ST1とST3の経年変動は $R=0.8$ ときわめて相関が高い。季節変動は、冬から春にかけて高い傾向がある。

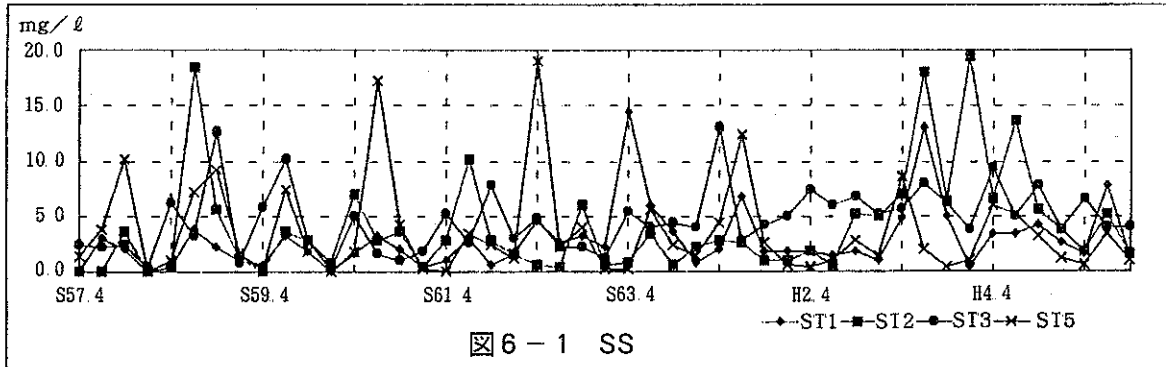


図6-1 SS

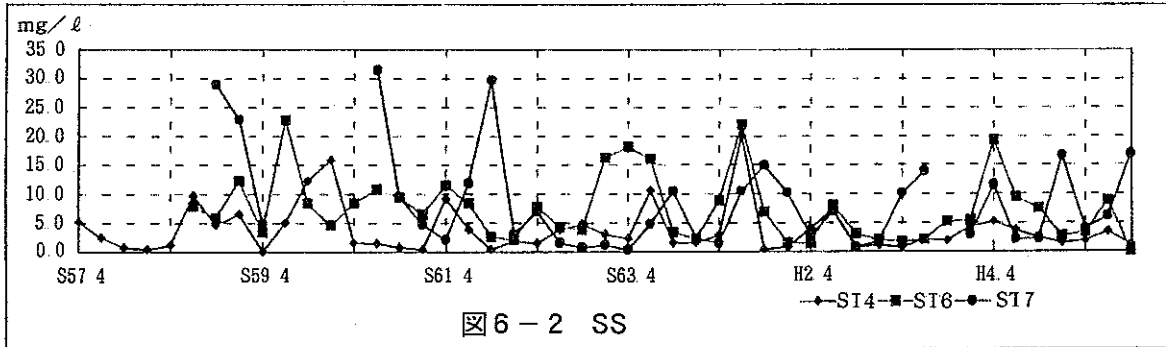


図6-2 SS

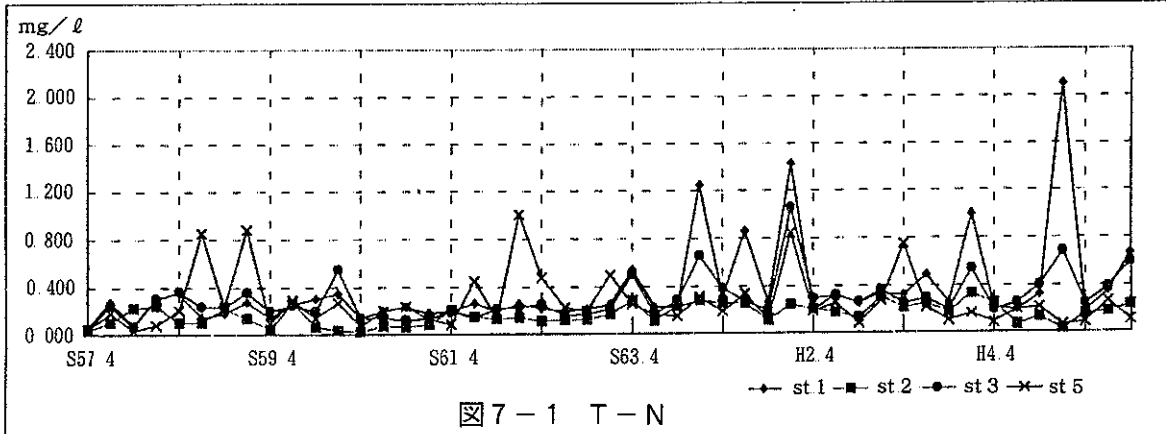


図7-1 T-N

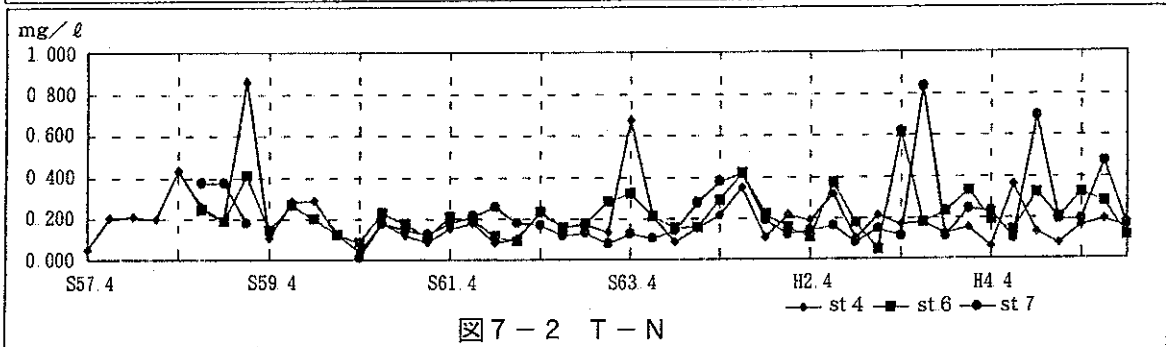


図7-2 T-N

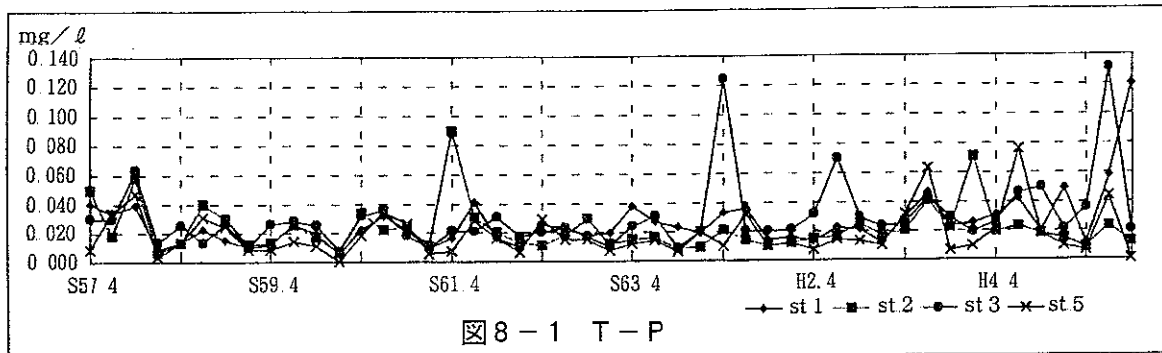


図8-1 T-P

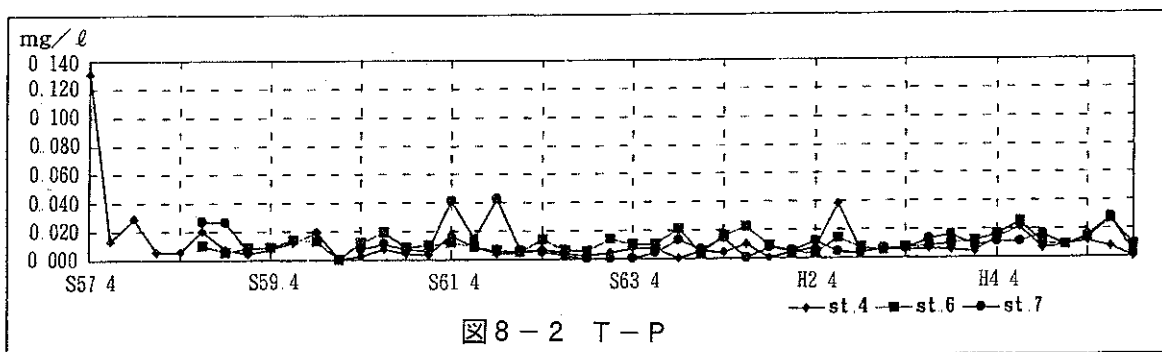


図8-2 T-P

7) T-P

図8-1、2に時系列データを示す。

春から夏にかけて上昇する季節変化がある。湿原内ではそれほど変動幅が大きいなが流入水及びため池は変動が大きい。特に高い値は、春と夏に集中していて近年増加傾向にある。

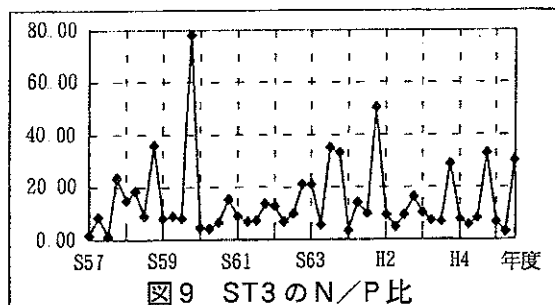


図9 ST3のN/P比

8) ST3 (ため池) のN、Pについて

ST3のため池は、全平均値としてT-Pで0.032mg/l、T-Nが0.293mg/lとかなり高く、しかも経年的に値が上昇する傾向がある。

椋原湿原のような腐植型酸性湖沼は非調和型湖沼⁹⁾と呼ばれ、調和型湖沼とは区別して考えなければならない。しかしこのため池は自然に形成されたものではなく、流入する水路も多いため、富栄養化について注意する必要がある。図9にST3のN/P比の時系列データを示した。季節変動があり、さらに3~4年程度の循環周期がみられる。調査開始当初と比べT-P値が上昇しており、N/P比が収束しつつあるように見える。

また、比較のため同じ脊振山系にある北山ダム(標高約500m)の表層水、および北山ダムへの流入河川(嘉瀬川詰の瀬橋(同約500m))のDOと水温の関係図を、昭和60年から平成5年までのデータをもとに作成した。

ST1、2、5の流入水については、詰の瀬橋と同様DO飽和曲線にほぼ近くなっている。これは流れがあることによって曝気され溶存酸素平衡となっているためと考えられる。

ST4、6、7およびST3については、このような傾向は見られず酸素不足の状態になっている。これは平衡に達するほどの曝気が起こっていないことと、主要な水供給源とされる地下水がわき上がる時点で、嫌気状態になっていることが考えられる。一方、北山ダムについてみると夏場のDO量が飽和量を超過している。北山ダムは富栄養化が懸念されている湖沼であり、夏場の過飽和状態は水生植物、植物プランクトン等による光合成に起因していると考えられる。

9) DOと水温について

DOと水温の相関は、流入水と湿原内で大きく異なっている。そこでDOと水温の関係を散布図にして分析した。(図10)

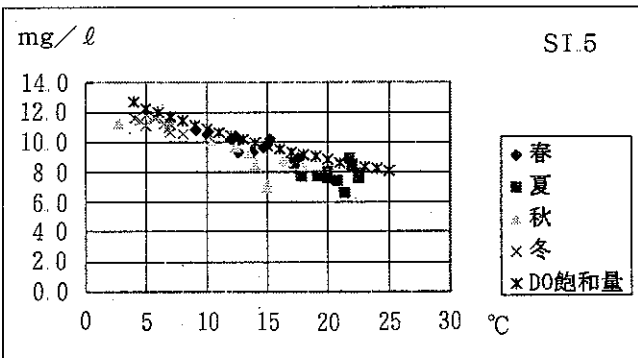
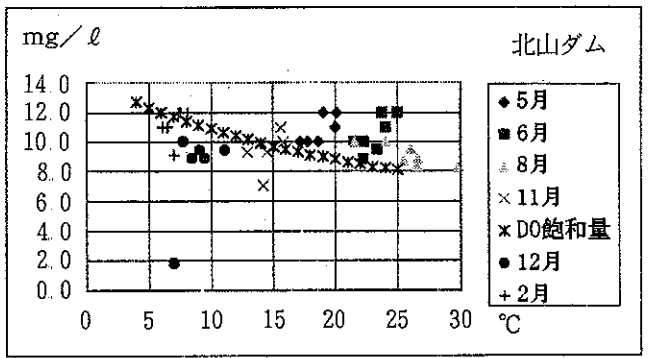
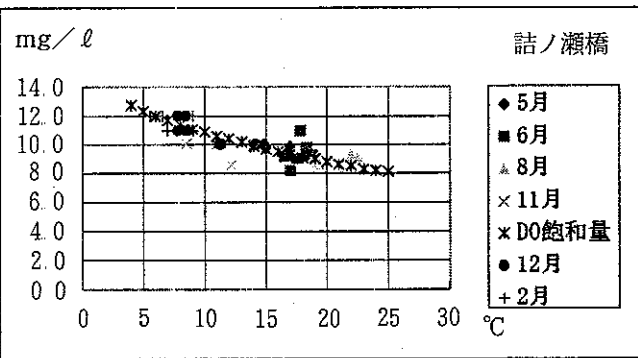
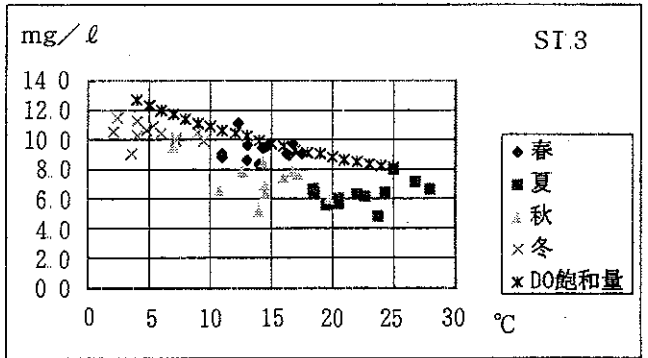
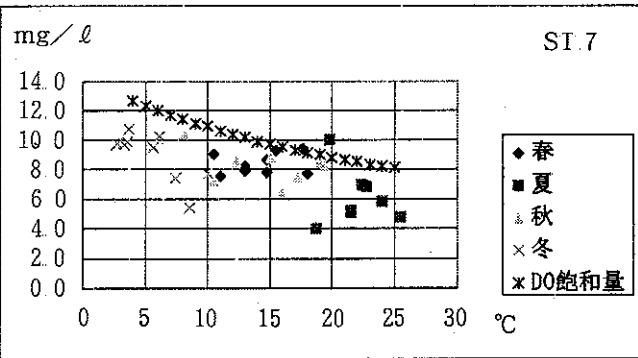
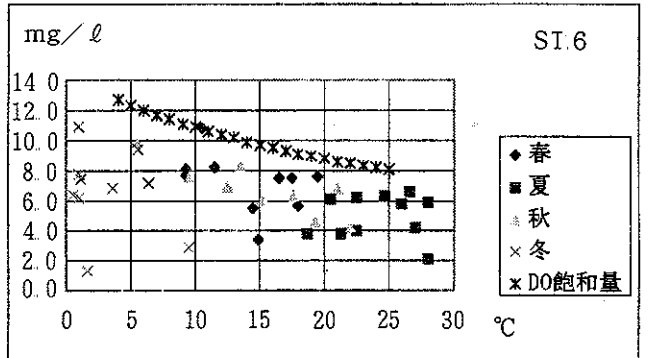
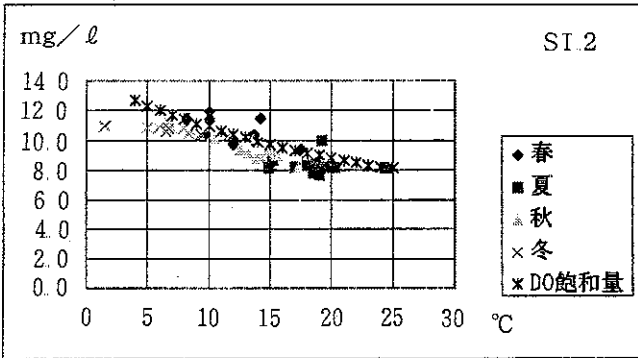
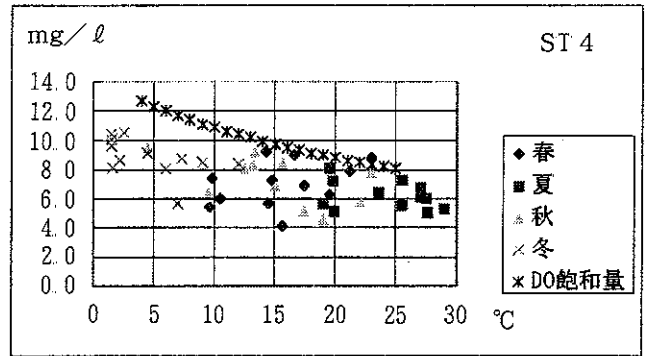
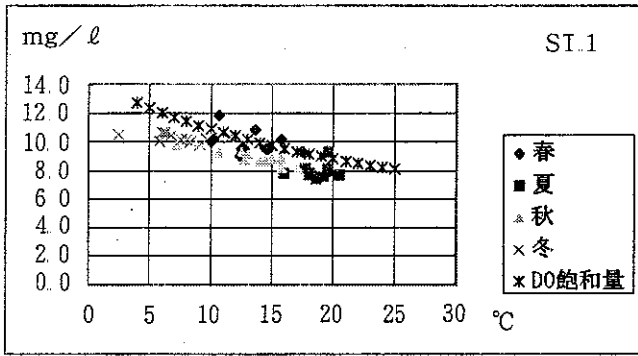


図10 水温 - DO 散布図

4 ま と め

湿原の中と流入水路の水質には、湿原の特性に起因すると思われる差があることがわかったが、これは当然予想されたことでもある。

長期間の変動傾向を、pH、BODについてみると、地点間で共通性がみられる。

湿原内の水質については、溶存性鉄が上昇しているほか、概ね安定しているといっている。

流入水について、T-N、T-Pの季節変動がはっきりしており近年変動が大きくなってきている。しかし水路による違いも大きい。この原因としてそれぞれの水路の周辺の負荷が関係しているとみられるものの、今回の分析では外的要因である気象や流域負荷の影響等の考慮はしなかった。このため本来水質はこれらの影響を強く受けていると考えられるが、特性を十分に把握することができなかった。

ST7付近では採水地点の変更を行わなければならないほど、水深が浅くなっており、このエリアで湿地の乾性化が進んでいるのかどうか調査が望まれる。その際の指標として、水深や水量といった水に直接結びつく指標だけでなく、湿生の環境変化を鋭敏にとらえられる植物などの観測を、あわせて継続的に行うと、より正確な環境の変化をとらえることができると思われる。

ST3のため池は栄養塩について、流入水路、とくにST1がある水路からの影響を強く受けている可能性がある。この栄養塩の由来については、詳細に調査を行って解析し明らかにしなければならない。

今後流入水の水質が湿原内へ影響をもたらすかどうか、注意深く見守っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 高柳 幹男
： 檜原湿原の水質調査結果について
： 佐賀県環境佐賀県環境センター所報
第5号 1984年
- 2) 北島 淳二、竹下 勇、古賀 靖弘
： 檜原湿原の水質調査結果の概要
： 佐賀県環境佐賀県環境センター所報
第7号 1988年
- 3) 岡田 光正
： 湿地の水質浄化機能
： 水環境学会誌 1994 Vol.17 No.3
- 4) 日本水質汚濁研究会編
： 湖沼環境調査指針 1984年