

## 資料

## 池田湖における水温と水質の状況について

尾 辻 裕 一                      坂 元 克 行                      貴 島                      宏  
 永 井 里 央                      宮ノ原 陽 子<sup>1</sup>                      長 井 一 文

## 1 はじめに

池田湖は薩摩半島南部に位置する湖面積10.95km<sup>2</sup>、周囲15.1km、最大水深233mを誇る九州最大の湖である。本県では、1975年以降公共用水域の水質常時監視として継続的に池田湖の水質調査を実施すると共に、池田湖水質環境管理計画<sup>1)</sup>を策定し総合的な水質保全対策を講じている。

本報では、本県が長年蓄積した池田湖の水環境データを活用し、一定の期間内で池田湖の水環境がどのように変化しているのかを解析し科学的知見を得ることを目的に、水温と水質を評価する各指標を対象に解析を行ったので報告する。

## 2 解析の概要

## 2.1 解析対象地点及び対象層

解析対象地点は、図1に示す、環境基準点1、環境基準点2、環境基準点3（以下「環境基準点」を「基準点」という。）、監視点イ、監視点ロ、監視点ハの計6地点とした。なお、図1には、水深及び等深度線を併せて載せている。また、解析対象層は表1に示す各常時監視層とした。

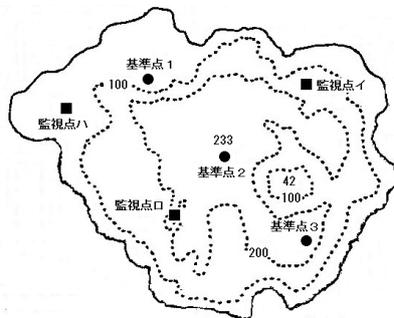


図1 解析対象地点

表1 解析対象層

| 地点   | 常時監視層                        |
|------|------------------------------|
| 基準点1 | 表層, 30m層, 70m層               |
| 基準点2 | 表層, 15m層, 30m層, 100m層, 200m層 |
| 基準点3 | 表層, 30m層, 100m層              |
| 監視点イ | 表層                           |
| 監視点ロ | 表層                           |
| 監視点ハ | 表層, 15m層, 30m層               |

## 2.2 解析対象項目

対象項目は、一般項目である、水温、透明度、色相の3項目、生活環境項目である、pH（水素イオン濃度指数）、DO（溶存酸素）、COD（化学的酸素要求量）、SS（懸濁物質）、大腸菌群数、T-N（全窒素）、T-P（全りん）の7項目並びにNH<sub>4</sub>-N（アンモニア態窒素）、NO<sub>2</sub>-N（亜硝酸態窒素）、NO<sub>3</sub>-N（硝酸態窒素）、PO<sub>4</sub>-P（りん酸態りん）、T-クロロフィル、クロロフィルa、クロロフィルb、クロロフィルcの8項目、計18項目とした。

## 2.3 解析対象期間

解析対象期間については、水質を評価する各種水環境データが揃っている1985年4月から2011年3月の26年間とした。

## 2.4 解析方法

データの季節変動などを取り除き、解析対象期間内での傾向を見るために、時系列と採水月を考慮し、説明変数とした重回帰分析を行った。また、季節変動の他に不規則変動を考慮した状態空間モデルを用いた季節変動法<sup>2)</sup>による解析も併せて行った。この解析については、季節変動周期を12区間2年周期とし、Web Decomp<sup>3)</sup>を用いて計算を行った。

1 鹿児島県食の安全推進課

〒890-8577 鹿児島県鹿児島市鴨池新町10-1

### 3 重回帰分析による解析結果と考察

#### 3.1 一般項目について

一般項目の変動を見るために、それぞれの地点の水温、透明度、色相の変化を解析した。それぞれの解析結果を表2に示す。なお、透明度及び色相については各地点表層のみのデータであり、色相については1990年4月から2011年3月の対象期間で解析を行った。また、色相の値についてはフォーレル・ウーレ水色標準液の水色番号を示している。

水温についての解析結果より、いずれの地点、層とも水温が上昇傾向にあることが分かった。上昇の度合いは各地点により異なるが、湖心に位置する基準点2の水温変化が他の地点に比べ緩やかである傾向が見受けられた。鉛直方向の水温についての解析結果より、各地点の表層や基準点1の70m層、基準点2の100m層及び200m層、基準点3の100m層に比べ、各地点の15m層や30m層の水温変化が小さいことが分かった。

水の清濁を評価する透明度についての解析結果より、いずれの地点も透明度が増す傾向にあることが分かった。また、透明度変化の最大と最小の差は $1.31 \times 10^{-2}$  m/年であり、透明度増加の度合いはどの地点も同程度であった。

色相についての解析結果より、いずれの地点も水色番号が減少する傾向にあることが分かった。水色番号は、藍色、黄色、褐色の3色標準液の混合割合により定義されており、1番が最も青く、番号が増えるに従って黄みを帯びさらに褐色を帯びていく。池田湖においては、21年間で約4段階より青みの強い水色に変化したことが分かった。

表2 一般項目についての解析結果

| 地点   | 層     | 水温変化                  | 透明度変化                 | 色相変化                  |
|------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      |       | ℃/年                   | m/年                   | 水色番号/年                |
| 基準点1 | 表層    | $4.41 \times 10^{-2}$ | $8.74 \times 10^{-2}$ | $-1.8 \times 10^{-1}$ |
|      | 30m層  | $2.64 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
|      | 70m層  | $4.26 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
| 基準点2 | 表層    | $2.91 \times 10^{-2}$ | $9.61 \times 10^{-2}$ | $-1.6 \times 10^{-1}$ |
|      | 15m層  | $1.25 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
|      | 30m層  | $2.27 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
|      | 100m層 | $3.63 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
| 基準点3 | 表層    | $4.03 \times 10^{-2}$ | $9.27 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-1}$ |
|      | 30m層  | $2.34 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
|      | 100m層 | $4.42 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
| 監視点イ | 表層    | $4.12 \times 10^{-2}$ | $8.30 \times 10^{-2}$ | $-1.6 \times 10^{-1}$ |
| 監視点ロ | 表層    | $5.01 \times 10^{-2}$ | $8.61 \times 10^{-2}$ | $-1.5 \times 10^{-1}$ |
| 監視点ハ | 表層    | $3.97 \times 10^{-2}$ | $9.14 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-1}$ |
|      | 15m層  | $2.62 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |
|      | 30m層  | $2.91 \times 10^{-2}$ | —                     | —                     |

#### 3.2 生活環境項目について

生活環境項目の変動を見るために、それぞれの地点のpH、DO、COD、SS、大腸菌群数の変化を解析した。T-N、T-Pの結果については次節で述べる。各項目の解析結果を表3に示す。なお、大腸菌群数については各地点表層のみのデータである。

pHについての解析結果より、基準点2と監視点ハの15m層を除く全ての地点、層でpHが減少傾向にあることが分かった。また、減少の度合いは各地点により大きく異なっていた。鉛直方向のpHについての解析結果より、表層や基準点1の70m層、基準点2の200m層、基準点3の100m層に比べ、各地点の30m層のpH変化の度合いが小

表3 生活環境項目についての解析結果

| 地点   | 層     | pH変化                  | DO変化                  | COD変化                 | SS変化                | 大腸菌群数変化           |
|------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|      |       | /年                    | (mg/L)/年              | (mg/L)/年              | (mg/L)/年            | (MPN/100mL)/年     |
| 基準点1 | 表層    | $-4.5 \times 10^{-3}$ | $-2.7 \times 10^{-2}$ | $-3.6 \times 10^{-3}$ | $-2 \times 10^{-2}$ | $1.2 \times 10^2$ |
|      | 30m層  | $-1.8 \times 10^{-3}$ | $-3.8 \times 10^{-2}$ | $1.2 \times 10^{-2}$  | 0                   | —                 |
|      | 70m層  | $-7.9 \times 10^{-3}$ | $-1.2 \times 10^{-1}$ | $1.6 \times 10^{-2}$  | $-5 \times 10^{-4}$ | —                 |
| 基準点2 | 表層    | $-1.1 \times 10^{-2}$ | $-2.6 \times 10^{-2}$ | $-1.4 \times 10^{-3}$ | $-2 \times 10^{-2}$ | $1.0 \times 10^2$ |
|      | 15m層  | $3.2 \times 10^{-3}$  | $-4.5 \times 10^{-3}$ | $6.2 \times 10^{-3}$  | $-6 \times 10^{-3}$ | —                 |
|      | 30m層  | $-3.4 \times 10^{-3}$ | $-3.2 \times 10^{-2}$ | $1.7 \times 10^{-2}$  | 0                   | —                 |
|      | 100m層 | $-1.1 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-1}$ | $1.9 \times 10^{-2}$  | 0                   | —                 |
| 基準点3 | 表層    | $-1.4 \times 10^{-2}$ | $-2.6 \times 10^{-2}$ | $-4.3 \times 10^{-3}$ | $-2 \times 10^{-2}$ | $1.2 \times 10^2$ |
|      | 30m層  | $-2.8 \times 10^{-3}$ | $-3.3 \times 10^{-2}$ | $1.4 \times 10^{-2}$  | 0                   | —                 |
|      | 100m層 | $-7.1 \times 10^{-3}$ | $-1.7 \times 10^{-1}$ | $2.2 \times 10^{-2}$  | $-3 \times 10^{-3}$ | —                 |
| 監視点イ | 表層    | $-1.1 \times 10^{-2}$ | $-2.6 \times 10^{-2}$ | $2.4 \times 10^{-3}$  | $-2 \times 10^{-2}$ | $8.5 \times 10^1$ |
| 監視点ロ | 表層    | $-4.1 \times 10^{-3}$ | $-2.2 \times 10^{-2}$ | $1.4 \times 10^{-3}$  | $-1 \times 10^{-2}$ | $1.2 \times 10^2$ |
| 監視点ハ | 表層    | $-1.5 \times 10^{-3}$ | $-2.2 \times 10^{-2}$ | $3.0 \times 10^{-3}$  | $-1 \times 10^{-2}$ | $1.4 \times 10^2$ |
|      | 15m層  | $7.3 \times 10^{-3}$  | $2.2 \times 10^{-3}$  | $8.3 \times 10^{-3}$  | $-5 \times 10^{-3}$ | —                 |
|      | 30m層  | $-1.8 \times 10^{-3}$ | $-4.6 \times 10^{-2}$ | $1.2 \times 10^{-2}$  | $-2 \times 10^{-3}$ | —                 |

さいことが分かった。

DOについての解析結果より、監視点ハの15m層を除く全ての地点、層でDOが減少傾向にあることが分かった。また、各地点表層におけるDO減少の度合いは同程度であることが見て取れた。鉛直方向のDOについての解析結果より、下層の方が表層に比べてDO変化の度合いが大きいことが分かった。このことは、1986年以降下層まで及ぶ全層循環が発生せず、下層において無酸素状態が継続<sup>9)</sup>していたことと符合している。

代表的な水質汚濁指標であるCODについての解析結果より、基準点1, 2, 3の表層を除く全ての地点、層でCODが増加傾向にあることが分かった。また、COD増加の程度は、地点、層によって異なることが見て取れた。鉛直方向のCODについての解析結果より、下層のCOD増加の度合いがより大きいことが分かった。このことは、CODが試料中の被酸化物質を反映するものであることを鑑みると、下層が無酸素状態となり湖水が還元的な性状を有していたことが影響しているのではないかと考えられる。

SSについての解析結果より、基準点2の200m層を除く全ての地点、層でSSは維持又は減少傾向にあることが分かった。基準点2の200m層については増加傾向を示すが、その程度は $9 \times 10^{-4}(\text{mg/L})/\text{年}$ と小さかった。また、表層のSS変化は、他の層に比べて減少の度合いが大きいことが分かる。このことは、先の解析で示したとおり、透明度が増加していることと符合していると考えられる。

大腸菌群数についての解析結果より、いずれの地点においても増加傾向にあることが分かった。また、各地点の増加の程度に大きな違いは見られなかった。

### 3. 3 栄養塩類について

栄養塩類の変動を見るために、それぞれの地点のT-N、T-Pの変化を解析した。なお、監視点イ、ロの2地点については、1986年4月から2011年3月の対象期間で解析を行った。また、基準点2及び監視点ハについてはNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-N、基準点2においては、さらにPO<sub>4</sub>-Pについても解析を行った。それぞれの解析結果を表4に示す。

窒素に関する解析結果について検討する。T-Nについての解析結果より、基準点2の200m層を除く全ての地点、層でT-Nが減少傾向にあることが分かった。また、基準点2の200m層のT-Nの増加の度合いは、 $4.2 \times 10^{-3}(\text{mg/L})/\text{年}$ と大きかった。各地点の30m層のT-Nの変化は、他の層に比べ減少の度合いが小さいことが見て取れた。NH<sub>4</sub>-Nについての解析結果より、基準点2、監視点ハの両地点の各層とも増加傾向にあることが分かった。特に基準点2の200m層については、増加の程度が他の層の100倍ほど大きいことが分かる。このことは、下層が無酸素状態となり還元的な水環境に移行したことと符合していると考えられる。NO<sub>2</sub>-Nについての解析結果より、各地点の表層と基準点2の30m層を除き増加傾向にあることが分かった。また、各地点15m層を除く変化の度合いは、NH<sub>4</sub>-Nの変化と比べ10分の1から1000分の1のオーダーと小さいことが分かる。NO<sub>3</sub>-Nの解析結果より、いずれの地点、層共に減少傾向にあることが分かった。また、変化の度合いはT-Nの変化と同じオーダーであった。

次にりんに関する解析結果について検討する。T-Pの解析結果より、基準点3を除く各地点の表層から30m層にかけて、いずれもT-Pが減少傾向にあることが分かった。鉛直方向のT-Pについての解析結果より、監視点ハ

表4 栄養塩類についての解析結果

|      |       | (単位: (mg/L)/年)        |                      |                       |                       |                       |                      |
|------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 地点   | 層     | T-N変化                 | NH <sub>4</sub> -N変化 | NO <sub>2</sub> -N変化  | NO <sub>3</sub> -N変化  | T-P変化                 | PO <sub>4</sub> -P変化 |
| 基準点1 | 表層    | $-3.4 \times 10^{-3}$ | —                    | —                     | —                     | $-9.0 \times 10^{-5}$ | —                    |
|      | 30m層  | $-8.0 \times 10^{-4}$ | —                    | —                     | —                     | $-8.5 \times 10^{-7}$ | —                    |
|      | 70m層  | $-5.5 \times 10^{-4}$ | —                    | —                     | —                     | $5.0 \times 10^{-5}$  | —                    |
| 基準点2 | 表層    | $-3.0 \times 10^{-3}$ | $1.4 \times 10^{-4}$ | $-1.2 \times 10^{-5}$ | $-1.8 \times 10^{-3}$ | $-8.2 \times 10^{-5}$ | $5.5 \times 10^{-5}$ |
|      | 15m層  | $-3.1 \times 10^{-3}$ | $6.4 \times 10^{-5}$ | $1.9 \times 10^{-5}$  | $-2.1 \times 10^{-3}$ | $-7.5 \times 10^{-5}$ | $5.5 \times 10^{-5}$ |
|      | 30m層  | $-4.9 \times 10^{-4}$ | $1.1 \times 10^{-4}$ | $-5.1 \times 10^{-7}$ | $-6.1 \times 10^{-4}$ | $1.4 \times 10^{-5}$  | $5.5 \times 10^{-5}$ |
|      | 100m層 | $-2.5 \times 10^{-3}$ | $1.6 \times 10^{-4}$ | $3.5 \times 10^{-6}$  | $-2.9 \times 10^{-3}$ | $1.0 \times 10^{-4}$  | $5.5 \times 10^{-5}$ |
| 基準点3 | 表層    | $-3.5 \times 10^{-3}$ | —                    | —                     | —                     | $-1.0 \times 10^{-4}$ | —                    |
|      | 30m層  | $-8.2 \times 10^{-4}$ | —                    | —                     | —                     | $2.1 \times 10^{-5}$  | —                    |
|      | 100m層 | $-2.4 \times 10^{-3}$ | —                    | —                     | —                     | $1.1 \times 10^{-4}$  | —                    |
| 監視点イ | 表層    | $-3.8 \times 10^{-3}$ | —                    | —                     | —                     | $-9.3 \times 10^{-5}$ | —                    |
| 監視点ロ | 表層    | $-3.7 \times 10^{-3}$ | —                    | —                     | —                     | $-1.1 \times 10^{-4}$ | —                    |
| 監視点ハ | 表層    | $-3.3 \times 10^{-3}$ | $1.1 \times 10^{-4}$ | $-1.2 \times 10^{-5}$ | $-1.8 \times 10^{-3}$ | $-8.6 \times 10^{-5}$ | —                    |
|      | 15m層  | $-2.9 \times 10^{-3}$ | $9.5 \times 10^{-5}$ | $1.4 \times 10^{-5}$  | $-2.2 \times 10^{-3}$ | $-6.6 \times 10^{-5}$ | —                    |
|      | 30m層  | $-6.3 \times 10^{-4}$ | $1.8 \times 10^{-5}$ | $1.2 \times 10^{-6}$  | $-2.9 \times 10^{-4}$ | $-3.2 \times 10^{-5}$ | —                    |

を除く地点では、深度が増すに従ってT-Pの増加の程度が大きくなっていることが見て取れた。特に、基準点2の200m層のT-P変化が著しいことが分かった。基準点2についてPO<sub>4</sub>-Pの解析結果より、表層から100m層までの増加の程度は一定であるのに対し、200m層の増加の程度は表層の100倍のオーダーとなっていることが分かる。このことは、無酸素状態になり徐々に底泥からりん酸が溶出した事を示唆している。

### 3. 4 クロロフィルについて

クロロフィルの変動を見るために、それぞれの地点のT-クロロフィル、クロロフィルa、クロロフィルb、クロロフィルcの変化を解析した。なお、解析は監視点イ、ロの2地点を除く4地点に適応した。それぞれの解析結果を表5に示す。

解析結果より、いずれの項目も地点、層にかかわらず減少傾向にあることが分かった。全クロロフィル量を示すT-クロロフィルの解析結果より、各地点表層の減少の程度が他の層に比べて大きいことが見て取れた。また、全ての藻類に含まれ、光合成に重要な役割を果たすクロロフィルaと褐藻や黄緑色藻等に多く含まれるクロロフィルcの減少の度合いが大きいという結果を得た。表層は、クロロフィルaとクロロフィルcの減少の度合いが同程度であるが、表層より深い層においてはクロロフィルcの減少の度合いがより大きいことが分かった。また、クロロフィルbの傾向は、クロロフィルaやクロロフィルcの減少の度合いに比べて小さいものの、鉛直方向に見た場合の挙動は他のクロロフィルと同じであった。

表5 クロロフィルについての解析結果

| (単位:( $\mu\text{g/L}$ )/年) |       |                       |                       |                       |                       |
|----------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 地点                         | 層     | T-クロロフィル              | クロロフィルa               | クロロフィルb               | クロロフィルc               |
| 基準点1                       | 表層    | $-1.8 \times 10^{-1}$ | $-9.4 \times 10^{-2}$ | $-1.4 \times 10^{-2}$ | $-7.9 \times 10^{-2}$ |
|                            | 30m層  | $-6.3 \times 10^{-2}$ | $-2.2 \times 10^{-2}$ | $-5.8 \times 10^{-3}$ | $-3.6 \times 10^{-2}$ |
|                            | 70m層  | $-4.7 \times 10^{-2}$ | $-1.8 \times 10^{-2}$ | $-4.5 \times 10^{-3}$ | $-2.5 \times 10^{-2}$ |
| 基準点2                       | 表層    | $-1.8 \times 10^{-1}$ | $-8.8 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-2}$ | $-8.2 \times 10^{-2}$ |
|                            | 15m層  | $-1.5 \times 10^{-1}$ | $-6.2 \times 10^{-2}$ | $-1.5 \times 10^{-2}$ | $-6.9 \times 10^{-2}$ |
|                            | 30m層  | $-6.1 \times 10^{-2}$ | $-1.8 \times 10^{-2}$ | $-6.4 \times 10^{-3}$ | $-3.7 \times 10^{-2}$ |
|                            | 100m層 | $-2.6 \times 10^{-2}$ | $-4.4 \times 10^{-3}$ | $-4.2 \times 10^{-3}$ | $-1.8 \times 10^{-2}$ |
|                            | 200m層 | $-3.0 \times 10^{-2}$ | $-7.7 \times 10^{-3}$ | $-2.7 \times 10^{-3}$ | $-1.9 \times 10^{-2}$ |
| 基準点3                       | 表層    | $-1.8 \times 10^{-1}$ | $-8.5 \times 10^{-2}$ | $-1.5 \times 10^{-2}$ | $-8.4 \times 10^{-2}$ |
|                            | 30m層  | $-6.8 \times 10^{-2}$ | $-2.2 \times 10^{-2}$ | $-5.2 \times 10^{-3}$ | $-4.1 \times 10^{-2}$ |
|                            | 100m層 | $-2.6 \times 10^{-2}$ | $-5.5 \times 10^{-3}$ | $-3.1 \times 10^{-3}$ | $-1.8 \times 10^{-2}$ |
| 監視点ハ                       | 表層    | $-1.7 \times 10^{-1}$ | $-7.4 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-2}$ | $-7.9 \times 10^{-2}$ |
|                            | 15m層  | $-1.2 \times 10^{-1}$ | $-4.1 \times 10^{-2}$ | $-1.7 \times 10^{-2}$ | $-6.0 \times 10^{-2}$ |
|                            | 30m層  | $-9.8 \times 10^{-2}$ | $-4.1 \times 10^{-2}$ | $-1.4 \times 10^{-2}$ | $-4.4 \times 10^{-2}$ |

## 4 季節変動法による解析結果と考察

池田湖の水温と水質を評価する各指標の傾向について

詳細に検討するために、季節変動の他に不規則変動を考慮した状態空間モデルを用いた季節変動法によりトレンドを算出した。なお、3章の解析の結果、多くの項目について地点間での差が見受けられなかったことから、最も多くの観測データを有する基準点2の表層を例に考察していくこととする。また、窒素についてはT-Nを、りんについてはT-Pを、クロロフィルについてはT-クロロフィルを代表として計算した。

図2に基準点2表層の各項目のトレンドを示す。それぞれ、「×」で示すのが観測データ、実線で示すのが観測データから季節変動と不規則変動を取り除いたトレンドである。

### 4. 1 水温の傾向について

水温のグラフより、観測データから季節変動と不規則変動を算出し、明確な傾向を抽出していることを確認することができた。また、水温のトレンドより、期間中ほぼ一定の割合で水温が上昇していることが分かった。

### 4. 2 透明度の傾向について

透明度のグラフより、観測データから季節変動と不規則変動を適切に計算し、明確な傾向を抽出している様子を確認することができた。透明度のトレンドより、水温とは異なり、期間中一定の割合で透明度が増加しているのではないことが分かった。透明度は1985年から1990年にかけて一度悪化し、その後2006年にかけて回復が見られ、以降維持又は減少傾向にあることが見て取れた。

### 4. 3 色相の傾向について

色相のグラフより、観測データから季節変動と不規則変動を算出し、明確な傾向を抽出していることを確認することができた。色相のトレンドより、1990年から1994年にかけて一度色相が悪化し、その後回復に向かっていることが見て取れた。

また、色相のトレンドは透明度のトレンドの符号を反転したものと似ていることが分かった。しかし、両者のトレンドを比較すると、透明度のトレンドが1985年から1990年にかけて一度悪化し、その後回復したのに対し、色相のトレンドでは1990年から1994年にかけて一度悪化し、その後回復しているという具合に、透明度の変化が時間を隔てて色相に現れているように見受けられた。

### 4. 4 pHの傾向について

pHのグラフにおいても、適切に傾向を抽出している様子を確認することができた。pHのトレンドより、傾

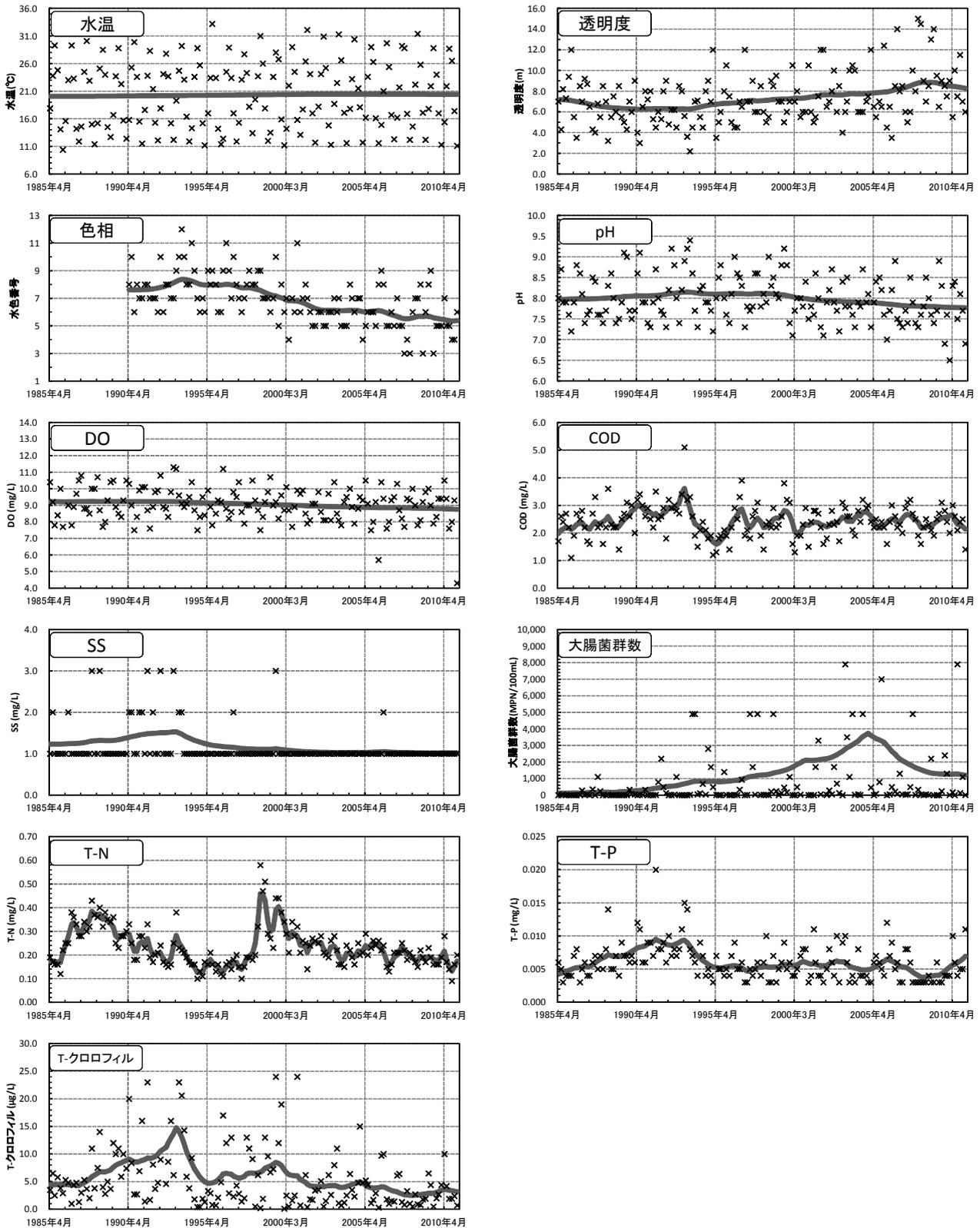


図2 基準点2表層における各項目のトレンド

向は大きく3期間に分かれていることが分かった。1985年から1993年にかけてpHは上昇傾向を示し、その後2000年にかけては維持傾向、そして減少傾向に転じていることが見て取れた。

3期間に分かれている点では透明度のトレンドと同じであるが、変曲点の位置は、pHが1993年と2000年であるのに対し、透明度は1990年と2008年と異なっていることが見て取れた。

#### 4. 5 DOの傾向について

DOのグラフより、観測データから季節変動と不規則変動を算出し、明確な傾向を抽出していることを確認することができた。DOのトレンドより、期間中ほぼ一定の割合でDOが減少していることが分かった。

また、DOのトレンドは水温のトレンドの符号を反転したものと似ていることが見て取れた。両者のトレンドが似ている理由としては、水温の上昇に従って、湖水の飽和溶存酸素量が減少したことが考えられる。表2の表層における水温の解析結果をもとに、26年間でどの程度の飽和溶存酸素量が減少するかを試算した。その結果26年間で20℃から約1℃の水温上昇があった場合、26年間で飽和溶存酸素量が0.16mg/L減少することが分かった。これに対して、表3の表層におけるDOの解析結果から見積もった26年間のDO変化量は、0.54~0.68mg/Lであったことから、DO変化を水温変化だけで説明することはできないことが分かった。水温はDOを変化させる一要因であるが、他の要因もかかわっていることが示唆される。

#### 4. 6 CODの傾向について

CODのグラフより、観測データとトレンドに大きな差がないことが分かった。このことは、CODに季節変動が大きくかかわっていないことを示唆している。CODのトレンドより、3.2節の解析においては減少傾向を示したが、期間中の変化の割合は一定ではないことが見て取れる。1985年から1993年にかけてCODは上昇傾向を示し、続いて1995年にかけて急激に減少、そしてその後は2~3mg/Lの間を変動しながら維持している傾向にあることが分かった。

#### 4. 7 SSの傾向について

SSのグラフより、観測データからトレンドを抽出できていないことが分かった。3.2節の解析において減少傾向が認められたが、これは期間の前半に大きな値を示す観測データが偏っていたことにより誤った傾向を導いた可能性がある。また、SSの観測データは整数値であり、有効桁数が少ないために詳細なトレンドを追うことができなかったと推察される。今後、試料濾過量の見直しなどにより、有効桁数のより多いデータを蓄積することで新しい傾向をつかむことができる可能性がある。

#### 4. 8 大腸菌群数の傾向について

大腸菌群数のグラフより、SSと同様観測データからトレンドを抽出できていない可能性があることが分かつ

た。3.2節の解析では増加傾向が認められたが、これは期間の後半に大きな値を示す観測データが点在することに起因すると考えられる。今回用いた計算方法におけるトレンドは、観測データの揺らぎを不規則変動として見積もり、取り除かれたものであるが、大腸菌群数においては、検出数のオーダーがかけ離れていたために正しく算出できなかったと考えられる。

#### 4. 9 T-Nの傾向について

T-Nのグラフより、観測データとトレンドに大きな差がないことが分かった。このことは、T-Nに季節変動が大きくかかわっていないことを示唆している。T-Nトレンドより、傾向が1985年から1998年、1998年から2010年の2期間に大きく分かれていることが見て取れた。また、どちらの期間も、一度上昇傾向を示し、その後減少傾向に転じていることが分かった。

#### 4. 10 T-Pの傾向について

T-Pのグラフより、観測データから季節変動と不規則変動を算出し、明確な傾向を抽出していることを確認することができた。T-Pのトレンドより、傾向は大きく3期間に分かれていることが分かった。1985年から1993年にかけてはT-Pが増加する傾向にあり、その後2008年までは維持傾向、そして再び上昇傾向に転じていることが見て取れる。

また、T-Pのトレンドは透明度のトレンドの符号を反転したものと似ていることが分かった。このことは、T-Pの起源のひとつがプランクトンなどの生体膜であると仮定することで説明することができる。透明度は水中の濁りによって変化するものであるため、T-Pが増加しプランクトンが増えることにより、濁りが増し、結果透明度は減少する。一方、T-Pが減少しプランクトンが減った場合には透明度は増加する。このように、T-Pと透明度の関係を説明することができる。

#### 4. 11 T-クロロフィルの傾向について

T-クロロフィルのグラフより、T-Pと同様観測データから季節変動と不規則変動を算出し、明確な傾向を抽出していることを確認することができた。T-クロロフィルのトレンドに着目すると、傾向は大きく2期間に分かれていることが分かった。1985年から1993年にかけて増加傾向にあり、その後維持又は減少傾向にあることが見て取れた。

透明度のトレンドと比較した結果、透明度の傾向は大きく3期間に分かれているものの、前半2期間の傾きの符

号を反転したものは、T-クロロフィルのトレンドに似ていることが分かった。T-クロロフィルは植物プランクトンの存在を示すことから、透明度に影響を与えると考えられる。しかし、T-クロロフィルのトレンドの変曲点は1993年であるのに対し、透明度の第一変曲点は1990年と約3年のずれがあることが分かる。このことはクロロフィル量は個体の生育環境等により変動することから必ずしも植物プランクトンの現存量と対応しない<sup>9)</sup>ことに起因しているとも考えられるが、現在のデータからは判断できなかった。

色相のトレンドと比較した結果、色相トレンドの第一変曲点が1995年に対し、T-クロロフィルの変曲点が1993年と違いがあるものの、ほぼ同じ傾向を示すことが分かった。このことは、緑や赤の色素であるクロロフィルが減少することにより、水色から黄味を取り除かれ色相が回復したためであると考えられることができる。

また、植物プランクトンの光合成により酸素が生成することを考えると、DOと密接な関係があるように思える。しかし、両者のトレンドを比較した結果、T-クロロフィルが1985年から1998年にかけて上昇しているにもかかわらずDOのトレンドには反映されていないことが分かった。ここで、水温のトレンドに着目すると、水温はおおよそ20℃で推移していることが分かる。純水の20℃における飽和溶存酸素量が8.84mg/Lであることを踏まえて、DOのトレンドを改めて見るとDOは約9mg/Lと飽和状態にあることが分かる。このことが、T-クロロフィルとDOのトレンドが同じではない一因であると推察される。

T-クロロフィルとT-Pのトレンドを比較した結果、T-Pが大きく3期間に分かれるのに対し、T-クロロフィルは2期間に分かれていることが分かった。しかし、第一変曲点は一致しており、クロロフィルを有する植物プランクトンの増加に合わせ、それを捕食する動物プランクトンが増加したと推察することができる。ただし、T-Pを構成するものは生体膜以外にも考えられ、鉄・マンガンなどの金属との反応機構もあることから断定することはできなかった。

## 5 まとめ

本報では、一定の期間において池田湖の水環境がどのように変化しているのかを解析し科学的知見を得ることを目的に、水温と水質を評価する各指標を対象に解析を行った。

一般項目について解析した結果、全ての地点、層で水温、透明度が増加傾向にあることが分かった。色相については、水色番号が減少傾向にあることが分かった。

生活環境項目について解析した結果、ほとんどの地点、層で、pH、DOが減少傾向にあることが分かった。CODについては、いずれの地点も表層では減少傾向、他の層では増加傾向にあることが分かった。

栄養塩類について解析した結果、基準点2の200m層を除く全ての地点、層でT-Nが減少傾向にあることが分かった。T-Pについては、各地点表層から30m層にかけては減少傾向に、他の層では増加傾向にあることが分かった。また、下層におけるNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの増加傾向は顕著であった。

クロロフィルについて解析した結果、全ての地点、層で減少傾向にあることが分かった。

基準点2表層の観測データについて、各項目のトレンドについて解析した結果、水温とDOのトレンドが類似していることが分かった。また、透明度、色相、T-P、T-クロロフィルの各トレンドも類似していることが分かった。トレンドは類似していたものの変曲点に相違が見られた要因等については、今後詳細に解析していく予定である。

## 参考文献

- 1) 鹿兒島県；第4期池田湖水質環境管理計画（2011）
- 2) Genshiro Kitagawa, Will Gersch ; A smoothness priors-state space modeling of time series with trend and seasonality, J Am Stat Assoc, **79**, 378~389 (1984)
- 3) 統計数理研究所；<http://ssnt.ism.ac.jp/inets/inets.html>
- 4) 平江多績, 坂元克行, 他；池田湖の周辺環境と水質, 本誌, **13**, 55~64 (1997)
- 5) 気象庁；海洋観測指針 (1999)