

## B-13 非直交多元配置分散分析による湖沼水質解析手法の検討

立命館大学大学院 学生員 ○田中周平 北村彰浩  
 京都大学大学院 正会員 藤井滋穂 宗宮 功  
 荏原製作所 古賀大輔

## 1. はじめに

湖沼調査などの水質は、季節、水深、地域、年度等、時空間的要因によって変動するため、実際の調査データをそのままの形で用いて水質分布傾向を把握することは困難である。そこで、本研究では、測定データから各種要因の影響を抽出する多元配置分散分析を湖沼データに適用する方法を検討するとともに、これを用いて各種水質指標の特性を調べた。

## 2. 琵琶湖調査

検証対象としたデータは、筆者らが、1995年4月より3ヶ月ごと年4回のペースで、琵琶湖22地点75の測点で実施している水質調査<sup>1)</sup>から得た。本解析では、これらのうち底層および南湖を除いた54箇所、1995年7月から1998年4月の12回分、39水質指標のデータを利用した。

## 3. 多元配置の適用

筆者らは、すでに2年間の非直交データに対して、分散分析を一括して実施する手順を示した<sup>1)</sup>。しかし、逐次増加するデータの場合、データの増加ごとに再度1から計算し直す必要があり、さらにデータ数が増えるごとに、直交解析に比べ飛躍的に演算量が増えるため、実施が困難となる。そこで本解析では、フロー図に示すように、まず各調査ごとに水深 ( $C_k$ 、5水準)、東西 ( $D_m$ 、5水準)、南北 ( $F_n$ 、4水準) の3因子による3元配置非直交分散分析を行った。測定値は次のモデル式で表される。

$$X_{kmn} = x_0 + c_k + \dots + f_n + (cd)_{km} + \dots + (df)_{mn} + e_{kmn}$$

ここで、 $x_0$ は適用データの総平均値であり、 $c_k \sim f_n$ は因子  $C_k \sim F_n$  の主効果を、 $(cd)_{km} \sim (df)_{mn}$ は2因子交互作用を、 $e_{kmn}$ は残差を示す。ただし  $\sum \sum e_{kmn} \rightarrow \min$  を条件として各係数値を推定した<sup>1)</sup>。そして次に、得られた12回の係数値、残差に対して、年 ( $A_1$ 、3水準)、季節 ( $B_j$ 、4水準) の直交2元配置を実施するという手法を用いた。これにより、対象データを一括処理する方法 ( $\sum \sum \sum \sum e_{ijkmn} \rightarrow \min$ ) に比べて、より迅速に分散および寄与率を求めることができた。本手順では、追加調査以前の係数値がそのまま利用でき、今後さらに蓄積されるデータを処理してゆく上でより有利である。

なお、非直交解析の場合、測点によっては係数値に意味のないもの（たとえば地点2Bでの水深×東西の交互作用）や残差が常にゼロになることがあり、不定となる解が生じるといった問題が生れるが、意味のない係数値をあえてゼロに設定することで、すべてのデータに対して残差が残るようにした。なお、自由度はゼロとおいた係数値の数だけ減少させた。

## 4. 分散分析表による検討

まず、表1にChl. aを例として分散分析表を示す。分散和は各係数値や残差が全体の分散に与える影響量で、自由度は、それを含む誤差の数に対応する。分散比は、1個分の自由度に対する因子変動（分散）を残差変動で割ることにより得られ、これとF分布表から得られた値を比較することで、その効果が偶然によるものか

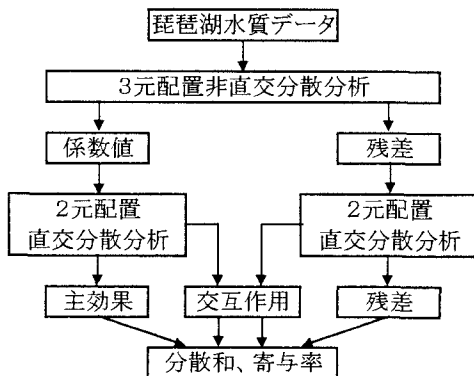


図1 5元配置非直交分散分析フロー図

どうかを検定できる。修正平方和は自由度分の誤差の影響を除いた変動量であり、寄与率はそれに基づく全分散に対する寄与率である。なお分散比が1未満の場合、この寄与率が負となり意味をなさないで、その場合は0として与えた。Chl. aの場合、危険率5%で13の作用で有意を示し、水深の寄与率が21.8%、季節×水深の寄与率が9.4%、年×季節×水深の寄与率が9.9%となり、水深、季節×水深、年×季節×水深の作用が水質形成に大きく寄与していることが分かる。

5. 因子別寄与特性の比較

分散分析表から得られる寄与率を、因子別に整理しまとめた図が図2で、主要20水質指標について示してある。図2を見ると、金属元素は、年、季節、年×季節の時間的要因が水質の主な寄与特性になっていることが分かる。T-N、T-P、T-COD<sub>Cr</sub>などの富栄養化指標は残差の占める割合が大きく、年、季節、水深、東西、南北の5因子では変動が一樣には説明できない結果となった。また、一般水質指標や窒素化合物、光合成色素は、水深の影響を大きく受ける傾向にあった。この結果、各水質指標によって各因子の影響の仕方が異なり、それに基づき水質指標を分類できることが予想された。

6. クラスタ分析の適用

そこで、各因子の水質への寄与特性にもとづいてクラスタ分析 (cluster analysis) を実施し、39水質指標の分類を試みた。使用データは、各水質指標ごとの因子別の寄与率であり、そのクラスタ間の距離計算として原データのユークリッド距離を用いた。クラスタ合併方法はウォード法を用いた。なお、解析にはExcel多変量解析Ver. 3. 0を用いた。

分類結果を樹形図に示す。この樹形図から各作用の水質への寄与特性は、以下に示すa～dの4通りに大きく分けられることが分かる。

- a. 水深の影響を強く受ける水質指標群  
季節、水深、季節×水深の3作用が水質変動の主要因となる場合であり、これらだけで、水温、pH、DO(%), NO<sub>x</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの59～89%が説明可能である。一般水質指標や硝酸性窒素関連の項目が含まれている。

表1 分散分析表(Chl.aデータ使用)

| Factor | 分散和  | 自由度 | 分散    | 分散比   | F値<br>0.05 | 修正<br>平方和 | 寄与率<br>(%) |
|--------|------|-----|-------|-------|------------|-----------|------------|
| 全体     | 1702 | 647 |       |       |            | 2088      | 100        |
| 年A     | 49   | 2   | 24.5  | 26.2  | 3.1        | 53        | 2.5        |
| 季節B    | 29   | 3   | 9.8   | 10.5  | 2.7        | 30        | 1.4        |
| 水深C    | 408  | 4   | 102.0 | 109.2 | 2.5        | 454       | 21.8       |
| 東西D    | 109  | 4   | 27.3  | 29.3  | 2.5        | 119       | 5.7        |
| 南北F    | 20   | 3   | 6.8   | 7.3   | 2.7        | 20        | 0.9        |
| AB     | 156  | 6   | 26.0  | 27.9  | 2.2        | 169       | 8.1        |
| AC     | 64   | 8   | 8.0   | 8.6   | 2.0        | 64        | 3.0        |
| AD     | 14   | 8   | 1.7   | 1.9   | 2.0        | 7         | 0.3        |
| AF     | 11   | 6   | 1.8   | 1.9   | 2.2        | 6         | 0.3        |
| BC     | 186  | 12  | 15.5  | 16.6  | 1.9        | 196       | 9.4        |
| BD     | 19   | 12  | 1.5   | 1.7   | 1.9        | 8         | 0.4        |
| BF     | 22   | 9   | 2.4   | 2.6   | 2.0        | 15        | 0.7        |
| CD     | 5    | 8   | 0.6   | 0.7   | 2.0        | 0         | 0.0        |
| CF     | 10   | 8   | 1.2   | 1.3   | 2.0        | 3         | 0.1        |
| DF     | 3    | 11  | 0.2   | 0.3   | 1.9        | 0         | 0.0        |
| ABC    | 206  | 24  | 8.6   | 9.2   | 1.6        | 206       | 9.9        |
| ABD    | 33   | 24  | 1.4   | 1.5   | 1.6        | 12        | 0.6        |
| ABF    | 35   | 18  | 2.0   | 2.1   | 1.7        | 21        | 1.0        |
| ACD    | 85   | 16  | 5.3   | 5.7   | 1.8        | 79        | 3.8        |
| ACF    | 58   | 16  | 3.6   | 3.9   | 1.8        | 48        | 2.3        |
| ADF    | 4    | 22  | 0.2   | 0.2   | 1.7        | 0         | 0.0        |
| BCD    | 9    | 24  | 0.4   | 0.4   | 1.6        | 0         | 0.0        |
| BCF    | 26   | 24  | 1.1   | 1.2   | 1.6        | 4         | 0.2        |
| BDF    | 19   | 33  | 0.6   | 0.6   | 1.6        | 0         | 0.0        |
| CDF    | 24   | 15  | 1.6   | 1.7   | 1.8        | 11        | 0.5        |
| ABCD   | 21   | 48  | 0.4   | 0.5   | 1.5        | 0         | 0.0        |
| ABCF   | 33   | 48  | 0.7   | 0.7   | 1.5        | 0         | 0.0        |
| ABDF   | 47   | 66  | 0.7   | 0.8   | 1.5        | 0         | 0.0        |
| ACDF   | 40   | 30  | 1.3   | 1.4   | 1.6        | 14        | 0.7        |
| BCDF   | 32   | 45  | 0.7   | 0.8   | 1.5        | 0         | 0.0        |
| 残差     | 84   | 90  | 0.9   | 1.0   | 1.4        | 679       | 32.5       |

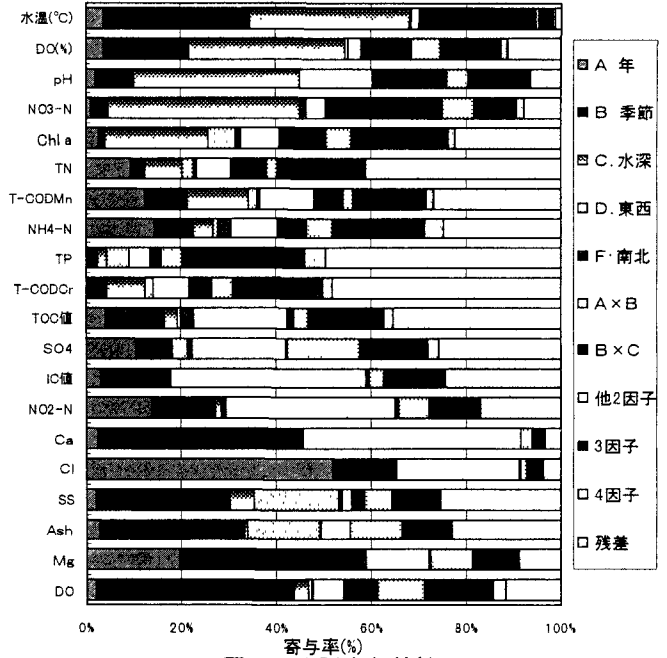


図2 因子別寄与特性

b. 各種因子が影響する水質指標群

b-1:水深、季節×水深の2作用が主要な水質変動要因となっているが、残差やその他の作用の寄与も幅広く受けている。Chl. a, Chl. bなどの光合成色素が含まれる。

b-2:残差が水質変動の主要因となっており、T-N, D-N, P-N,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , D- $\text{Org-N}$ , T-P, D-P, P-P,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , T-COD $_{\text{Cr}}$ , S-COD $_{\text{Cr}}$ , P-COD $_{\text{Cr}}$ , T-COD $_{\text{Mn}}$ , S-COD $_{\text{Mn}}$ , P-COD $_{\text{Mn}}$ , TOC, DOC, TC, VSS, Chl. cなどにこの傾向が見られた。富栄養化関連指標が多く含まれていることから、窒素、リン、有機物量などの水質形成要因を客観的に表現することが困難であることを示す結果となった。

c. 年の影響を強く受ける水質指標群

年、季節、年×季節の3つの時間的作用が水質変動の主要因となっている。 $\text{NO}_2\text{-N}$ , IC,  $\text{SO}_4^{2-}$ , D- $\text{Org-P}$ ,  $\text{Cl}^-$ , POC,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  がこれに含まれる。特に、 $\text{Cl}^-$ は年度、 $\text{Ca}^{2+}$ は季節の寄与を大きく受けている。

d. 季節の影響を強く受ける水質指標群

d-1:季節、東西、残差の3作用が水質変動の主要因となる場合であり、これらだけで、SS, 灰分 (Ash) の62～69%が説明可能である。特に東西の寄与が他の指標に比べて大きかったことは、琵琶湖東岸の浮遊性物質濃度の高さが分散分析結果に反映されたためではないかと推測される。

d-2:季節の作用が水質変動の主要因となっているが、他の作用の影響も幅広く受けている。DO,  $\text{Mg}^{2+}$  がこれに含まれる。

7. まとめ

本報告では、琵琶湖水質データに対する多元配置分散分析の適用例を示した。また、分散分析により得られたデータの活用例として、因子別の寄与率をクラスター分析に適用することで、水質指標を寄与特性別に分類する一手法を示した。以下にその成果を記す。

- (1) 分散分析により、様々な要因に覆い隠されていた水質指標の特徴を抽出することができた。
- (2) クラスター分析により、各作用の水質への寄与特性が、年、季節、水深、残差の各因子の影響を強く受ける4つの水質指標群に分類できた。

最後に、本研究の遂行では、日本生命財団の助成と琵琶湖工事事務所の協力を得たことを記し、関係各位に謝意を表わす。

参考文献：1）林徹、非直交多元配置型分散分析による琵琶湖水質指標間関連特性の検討、土木学会第52回年次学術講演会p. 194-195(1997)

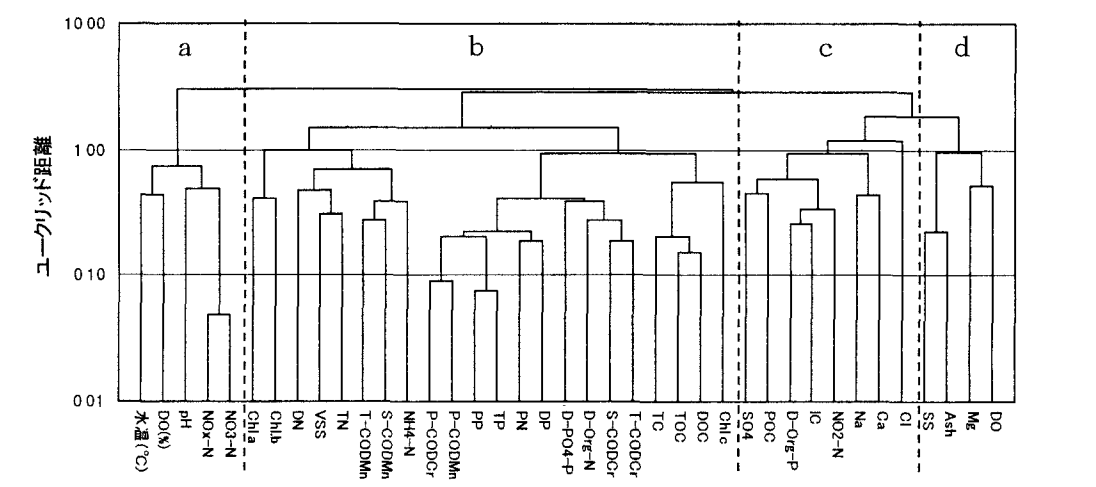


図3 クラスター樹形図