

京都大学 学生員 〇小野 芳朗
 京都大学 正会員 宗宮 功

1. はじめに

琵琶湖南湖の水質を決定する要素は不確定的であり、汚濁現象の把握、因果関係、水質の予測は容易ではない。このような場においては大局的に水質を理解する方法をとることが改善であるとの観点より、筆者らは水質データに多変量解析の種々の手法を適用し、水質管理の方途を模索するものとして重回帰分析による検討を実施した。琵琶湖南湖は平均水深4mと浅く、成層を形成することなく、むしろ風、就航等による水面擾乱が問題となる。またその流出は、瀬田川の南郷沈埋の流出水量の人為的操作で滞留時間は4~30日、平均14日と変動する。水質データは、1976年6月より1979年4月まで図-1に示す琵琶湖南湖22地点において実測したものを採用した。本研究では藻類の増殖がどのような変数によって説明される(説明変数)、どのような形で説明されるか(因果)を調べることを目的とし、目的変数としてクロロフィルa(Chla)、説明変数として藻類を直接構成すると考えられる懸濁性物質は省き、栄養塩因子としてアンモニア性窒素(NH₄-N)、硝酸性窒素(NO₃-N)、オルトリン酸態リン(PO₄-P)、増殖に影響する環境因子として水温(WT)、木の滞留時間(RT)、日射量(SUN)を選び、線形相加法モデルとした。なお計算は、京大大型計算機センターFACOM M-200 SPSS(Statistical Package for Social Science)を使用した。

2. パス解析(Path Analysis)

説明変数相互間の内部相関は小さくしなければならず、理想としては相互に独立、相関が零であることが望ましい。しかしながら本研究においては、内部相関の予想されるものを説明変数として扱っており、この変数間の因果的順序(casual order)を調べる必要がある。そこで目的変数以外の変数中から、あらたに目的変数を選び、さまざまな変数の組み合わせでさらに重回帰分析を行なう。この結果を図-1に示した3地域について、図-2~図-4にパスダイヤグラムを掲げる。点線はChlaの説明に有意でなかった場合である。図中+の符号のうち、左は標準偏回帰係数β、右は単相関係数Simple Rの符号であり、矢印に添う数字は標準偏回帰係数である。その矢印が説明変数から目的変数を直接に指している場合にはβとSimple Rの符号が一致し、間接的である場合には相反していることが概して(寄与率の小さい変数を例外として)認められる。図-2東岸において夏と秋に目的変数Chlaに対して有意でないのは、この地域の汚染が進行しており常に負荷が高く栄養塩のbaseが十分にあり、かつ底泥の巻き上げの影響が強いためであると思われる。概して栄養塩に着目すればNO₃-Nの藻類増殖に対する寄与が高いといえる。しかし北西部においてはPO₄-Pの寄与も他の栄養塩に比べて高く、この地

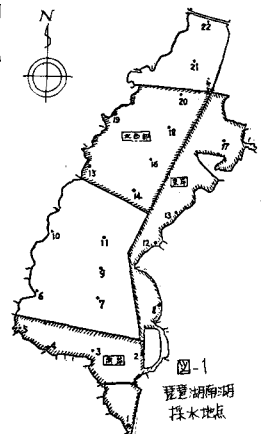


図-1 琵琶湖南湖採水地点

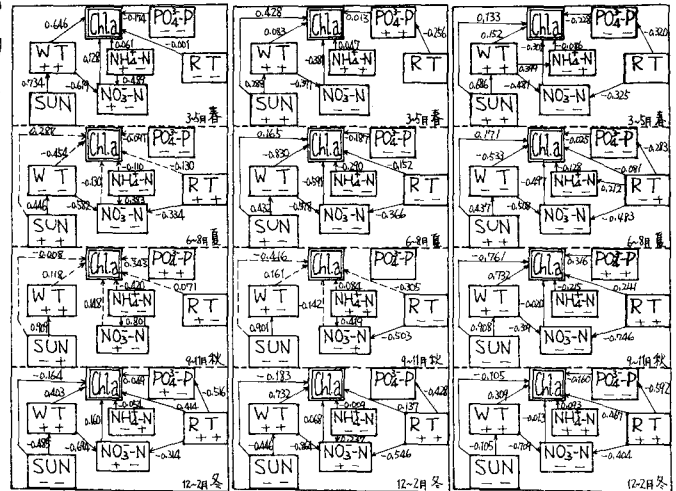


図-2 東岸

図-3 南岸

図-4 北西部

パスダイヤグラム

図-2東岸において夏と秋に目的変数Chlaに対して有意でないのは、この地域の汚染が進行しており常に負荷が高く栄養塩のbaseが十分にあり、かつ底泥の巻き上げの影響が強いためであると思われる。概して栄養塩に着目すればNO₃-Nの藻類増殖に対する寄与が高いといえる。しかし北西部においてはPO₄-Pの寄与も他の栄養塩に比べて高く、この地

域では $PO_4^{3-}P$ の制限因子としての役割が大きいといえる。また NO_3^-N を目的変数としてみた場合に、水温WTの効果の大きいのは、それが水温の上昇による藻類の NO_3^-N 摂取を示すものや、硝化菌の機能を示すものであろう。これらの重回帰モデル式を用いてChlaの推定値を各地域の各地点について求め、その平均値をChlaの実測値とともに1例を北西部にとり図5に示すが、推定値は実測平均値にかなり近い値および変化を示す。

3. 藻類増殖の制御

ここでは春期(3.4.5月)のChla濃度を目的変数とし、説明変数として栄養塩 NH_4^+-N 、 NO_3^-N 、 $PO_4^{3-}P$ に關し1回前の測定日のデータ(約15日前のデータ)を用い重回帰式を求め、その結果を表-1に示す。藻類増殖の制御のためには様々な要因を変数として考えねばならないが、ここでは人為的にコントロールしうる流出水量のみ扱い滞留時間RTの操作によってChla濃度がどのように変化するかをみる。栄養塩の重回帰式、滞留時間を表-2に掲げる。表-2の栄養塩の回帰式を表-1のChlaの重回帰式のうち有意なものについてのみ代入し、表-3に示すような説明変数を滞留時間RTとしてChlaの回帰式を求めた。ここで用いた栄養塩の回帰式で NH_4^+-N については南岸と北西部でRTで説明できないか、たのて実測値の平均値を用いている。冬期の滞留時間の平均は年によつて差はあるが、表-2に示すように比較的長い。そこで表-3の回帰式中でRTを15.0日、10.0日と短かくしていった場合の栄養塩、Chlaの変化を表-4に示す。この表よりRTが短くなると NO_3^-N や $PO_4^{3-}P$ は増加の傾向にあるが、Chla濃度は下が、てくることがわかる。また北西部で $PO_4^{3-}P$ が大きな制限因子となっていることは、表-1の $PO_4^{3-}P$ の回帰係数の大きさからわかる。この符号が負であるのは、 $PO_4^{3-}P$ が大きくなればChlaが小さくなるという矛盾をひきおこすが、これは $PO_4^{3-}P$ が滞留時間、流域の負荷等の他の要因の影響を受けているためと考えられ、 $PO_4^{3-}P$ からChlaを制御するには、その因果関係を把握する必要がある。

4. おわりに

本研究においては、多変量解析の手法である重回帰分析法を用い、種々の要因の複合として藻類の増殖を検討し、その季節別、地域別による因果関係を知り、線形加法性モデルにより実測値の変動パターンにほぼ一致した推定値を得た。さらに説明変数に栄養塩の1回前の測定日のデータを用いることにより、滞留時間の操作でChla濃度を予測することができた。

また今後、水質データに重回帰分析を施す際、留意すべき点として重回帰モデルの効用性がある。水質因子による回帰モデルが必ずしも線形であるとは限らず、また説明変数の効果に、たとえば NO_3^-N とWTの間のごとく交互作用(interaction)があり、加法性が損なわれる場合も考えられ、乗積項、指数項をも含むモデルを検討する必要があると考えられる。

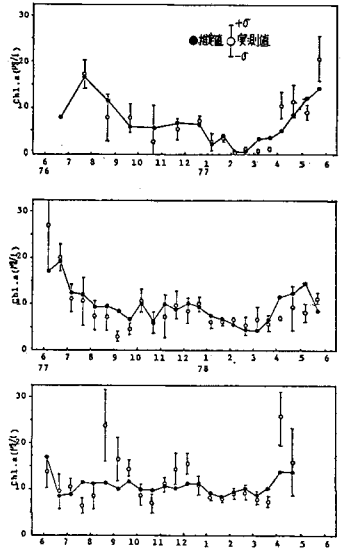


図-5 Chlaの重回帰推定(北西部)

表-1 Chlaの重回帰式

地点	WT	NO_3^-N	$PO_4^{3-}P$	Std. Error	Stat. F	Stat. P
北西部	0.230	-0.110	-0.875	.706	14.30	3.10 < 0.05
南岸	0.085	-0.100	-1.461	50.764		
北西部	0.094	-0.125	-0.627			
北西部	0.026	-0.022	-0.068	22.317	1.79	9.66 3.10 > 0.10
北西部	0.022	-0.200	-0.079			
北西部	0.013	-0.075	-0.377	23.392	4.86	5.10 3.10 > 0.10
北西部	0.057	-0.048	-0.577			
北西部	0.028	-0.355	-0.205			
北西部	0.074	-0.619	-0.885	7.82	8.47	2.98 < 0.10
北西部	0.050	-0.120	-0.750	40.510		
北西部	0.151	-0.209	-1.123			
北西部	0.240	-0.725	-1.151			
北西部	0.030	-0.070	-0.410	21.990	7.93	4.53 2.98 < 0.10
北西部	0.261	-0.740	-1.200			
北西部	-0.101	-0.411	-0.540			
北西部	0.100	-0.140	-0.800	44.320	7.58	8.05 2.98 < 0.10
北西部	0.051	-0.082	-0.606			
北西部	0.039	-0.011	-0.186	18.650	7.64	5.00 2.90 < 0.10
北西部	0.120	-0.116	-0.079			
北西部	-0.015	-0.024	-0.230	11.559	1.89	2.50 1.90 > 0.10
北西部	0.024	-0.271	-0.011			
北西部	0.173	-0.668	-1.073			
北西部	0.163	-0.078	-0.304	15.251	8.75	4.59 2.90 < 0.10
北西部	0.221	-0.182	-0.777			

A: Standard Partial Regression Coefficient
 B: Partial Regression Coefficient
 S: Simple Correlation Coefficient
 R: Multiple Correlation Coefficient
 Std. Error: Standard Error

表-2 栄養塩の重回帰式

地点	RT	NO_3^-N	$PO_4^{3-}P$	Std. Error
北西部	16.4	11.56	23.64	30.04
南岸	16.9	14	156	10
北西部	16.9	14	156	10
北西部	23.6	24	136	4
北西部	30.0	18	92	2
北西部	16.9	74	100	8
北西部	30.0	16	98	6

表-3 Chlaの重回帰式

地点	Chla	RT
北西部	Chla = 1.63 * RT - 6.38	R = 0.485
南岸	Chla = 1.04 * RT - 2.46	R = 0.316
北西部	Chla = 0.32 * RT + 7.31	R = 0.516
北西部	Chla = 1.18 * RT - 7.20	R = 0.546
北西部	Chla = 0.58 * RT + 0.05	R = 0.628
北西部	Chla = 0.01 * RT - 160.22	R = 0.552

表-4 滞留時間操作によるChlaの変動

地点	RT (day)	NO_3^-N (mg/L)	$PO_4^{3-}P$ (mg/L)	Chla (mg/L)
北西部	16.9	14	156	10
南岸	16.9	14	156	10
北西部	23.6	24	136	4
北西部	30.0	18	92	2
北西部	16.9	74	100	8
北西部	30.0	16	98	6
北西部	15.0	10	162	12
北西部	15.0	8	292	7
北西部	15.0	24	191	7
北西部	15.0	18	191	7
北西部	15.0	74	157	10
北西部	15.0	16	157	10
北西部	10.0	1	180	16
北西部	10.0	8	224	8
北西部	10.0	24	224	8
北西部	10.0	18	224	8
北西部	10.0	74	176	14
北西部	10.0	16	176	14