

<ノート>

3. 湖沼の透明度について

— 北潟湖および三方五湖の測定値から —

宇都宮高栄，次田啓二，青木啓子，内田利勝，富山 猛

I 緒 言

透明度は、周辺に暮らしている人々が直接に目で見えて感じる現象に対応し、マクロなTSI(Trophic State Index)ではあるがCarlson 指標が考案されているように、湖の総合指標として重要な項目である。富栄養化状態の進行している福井県の北潟湖および三方五湖の透明度について、若干の検討を行ったので報告する。

II 使用した測定値等について

1. 地点：各湖沼の代表として、①北潟湖北、②北潟湖心、③北潟湖南、④三方湖東、⑤水月湖南、⑥菅湖、⑦久々子湖南、⑧日向湖北を選び、図-1に示す。

2. 項目：透明度(L)，COD，SS，Chl-a、および、透明度の逆数(1/L)。(1977～87年度公共用水域の常時監視調査および類型指定のための精密調査の結果)なお、個々の解析において必要とする全項目がそろわない試料については、集計から省いた。

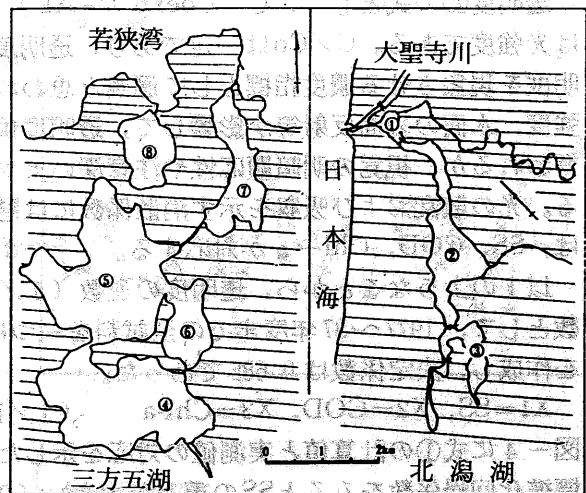


図-1 北潟湖，三方五湖測定地点

III 各湖の透明度の比較

1. 各湖の透明度の概況：透明度の時系列を図-2に、透明度の集計を表-1に示した。各湖とも季節変動を示し、平均値では、北潟湖北、北潟湖心、北潟湖南および三方湖東は汚濁し、日向湖北は比較的清澄である。

2. 透明度の変動について：

1) 北潟湖：湖南の変動係数は湖北や湖心よりも大きい。湖南では直接的な河川流入や逆流による流入が少ないため、湖南の生産周期が反映されたと思われる。一方、湖心では観音川の、湖北では海水と大聖寺川の流入攪拌により、変動が比較的少ないものと思われる。

2) 三方五湖：三方湖東、水月湖南、および日向湖北の変動係数は、菅湖、久々子湖南より大きい。三方湖東では夏期にアオコが発生するなどの湖内の生産周期が反映したと思われる。水月湖南は三方湖東と連なっておりアオコの流入が観察されるときもあるが、三方湖東および久々子湖南との透明度の相関係数はそれぞれ0.14，0.49であり、久々子湖南と水理的に似ていると思われる。しかし、時系列図のなかで微視的には、夏期に三方湖東と連動していると考えられるときも見られる(例えば、80，81，83，87年)。このようにして、水月湖南は三方湖と久々子湖の間であって変動係数が大きくなったと思われる。日向湖北は他の湖と違い透明度が大きく、汚濁レベルが低いいため、消散係数の僅かな変動が透明度に大きく反映する(変動 $=dL/d(1/L)=-L^2$ ，変動率 $=\text{変動}/L=-L$)ためと思われる。一方、菅湖は三方湖→水月湖→久々子湖→海と連なる水流から離れてやや独立し、かつ、湖内の生産性が北潟湖や三方湖と比べて小さいために、また久々子湖では水流が安定せず平均化されるために、変動が少ないものと思われる。

3. 透明度の年周期性について：年ごとの天候が透明度に大きく影響していると思われるが、水

温および日射量の上昇にともなう湖南の生産を考えると、夏期の下降冬期の上昇が予想される。一年を周期とする平均的な正弦回帰〔 $L = A \sin 0.0172 (T + K) + B$ 〕式をあてはめたところ、表-2のような結果になった。水深が2 m前後の湖では相関係数が高くなり(図-3 ③④)、水深の大きな湖では低くなった(図-3 ⑤)。Kの値から、淡水性の湖(②③④)では9~10月ごろが年平均値(その3ヶ月前に最小)になり、汽水性の湖(①⑦)では時期が少し早まっている。一方、水深の大きな湖には夏期の生産や冬期の湖水循環などの複雑な挙動があり、また、⑤では隣の湖からの移流なども生じるため、簡単な年平均的モデルでは説明できないと思われる。

以上から、湖群の最奥部に位置している北潟湖南および三方湖東では、湖内の生産が透明度に直接反映していると思われる。

IV 透明度の消散係数に關係する項目と回帰式について

透明度(L)の式として、 $C = C_0 \exp(-AL)$ が一般に示されている。Aは光の消散係数、C、 C_0 は光強度である。 C/C_0 は一定であり、透明度の逆数($1/L$)がAに比例する。($1/L$)は透明度を現象させる濃度指標として適当と思われる。なお、透明度の測定するとき、太陽高度、日射の強度、水面の表面反射等が影響して、透明度値の精度は他の化学分析値よりも劣るのではないかとされるが、視覚の明暗順応性や注意深いセッキ円盤の凝視により、大きな誤差は生じないと考えられる。光の散乱および吸収を示す消散係数には懸濁物質と着色物質が対応し、実際の測定項目としては、SS、COD、Chl-aが対応する。

以上のようなことから、透明度の逆数($1/L$)を目的変数とし、COD、SS、Chl-aを説明変数として、1977~87年度までの全試料を一つにして($n=432$, 表-3 全試料集計値)、回帰式を作成し、決定係数は0.685であった。

$$X_1 = \text{SS}, X_2 = \text{COD}, X_3 = \text{Chl-a} \quad (1/L) = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \text{CONST.} \quad \text{①}$$

図-4に式①の計算値と実測値の対応を示した。

標準化回帰係数をみるとSSの重みが大きい(0.57)ので、SSとの単回帰式を作成し、決定係数は0.617であった。

$$(1/L) = \beta_1 X_1 + \text{CONST.} \quad \text{—— ②}$$

回 帰 式 ①		回 帰 係 数			係 数 検 定 F 値
項 目		β	標 準 誤 差	標 準 化	
1	SS	0.04630	0.0029	0.570	257.2
2	COD	0.05834	0.0075	0.265	60.4
3	Chl-a	0.00266	0.0076	0.118	12.4
—	CONST	0.24052	0.0321	—	$F(0.01) = 3.83$

回 帰 式 ②		回 帰 係 数			係 数 検 定 F 値
項 目		β	標 準 誤 差	標 準 化	
1	SS	0.06378	0.0024	0.785	691.3
—	CONST	0.45428	0.0232	—	$F(0.01) = 6.70$

以上から、透明度については、SSのみ、または、CODとChl-aを加えて、十分な回帰式を作成することができたと思われる。富栄養化現象の予測計算値にSS等が求められると、湖水の印象の指標である透明度が予測される。

V 結 語

各湖の透明度の比較から、北潟湖北、北潟湖心、北潟湖南および三方湖東が汚濁が進行していること、北潟湖南および三方湖東では平均的な年周期が見られ、湖内の生産が直接反映していることが分かった。透明度の逆数を用いて、SSのみ、または、CODとChl-aを加えて、回帰式を作成することができた。

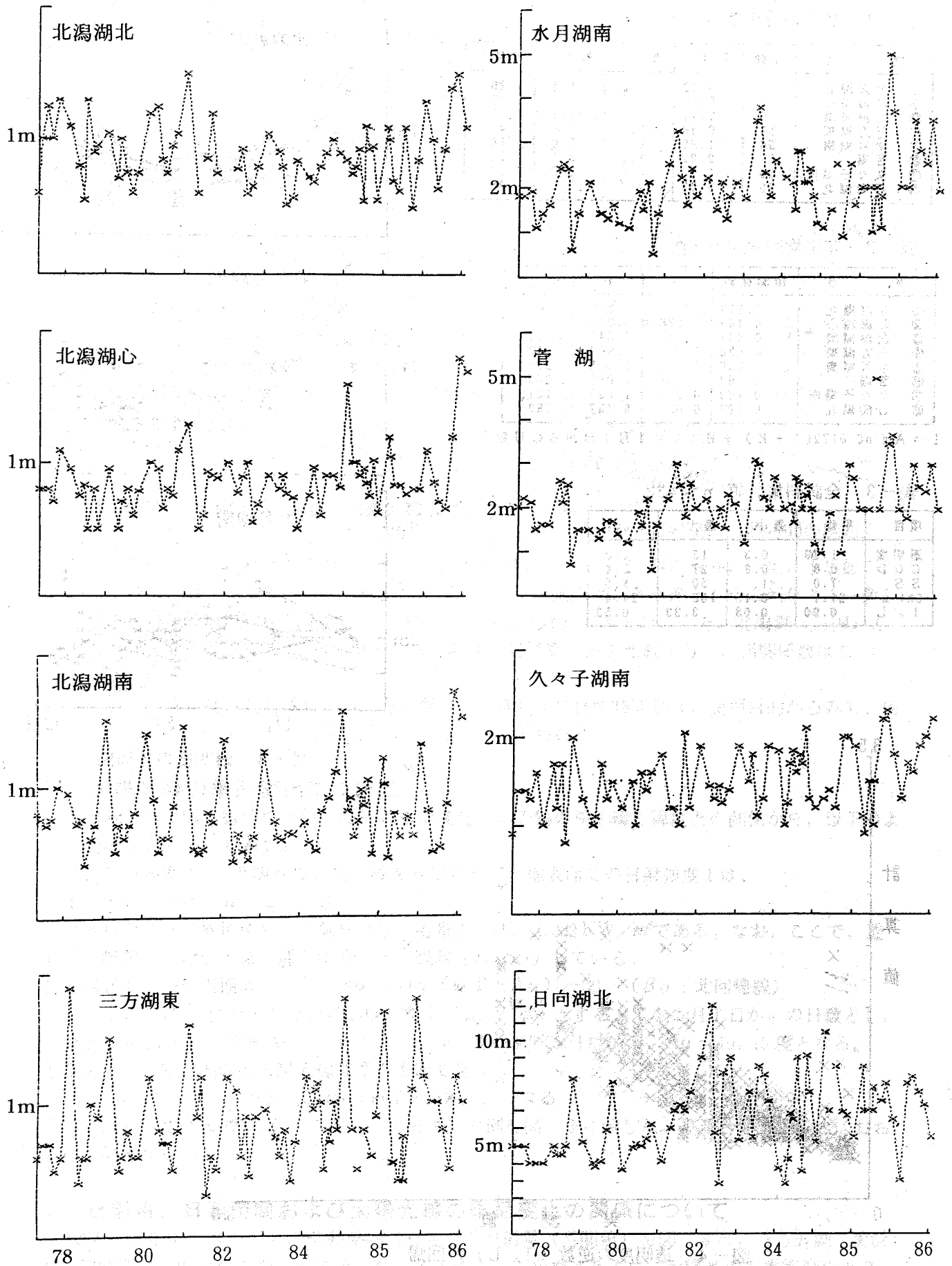


図-2 透明度の時系列

表-1 各湖の透明度の集計

地 点	n 数	平均	最小	最大	C V %
① 北 湖 北 心	54	0.92	0.5	1.5	25
② 北 湖 南 心	58	0.87	0.5	1.7	27
③ 北 湖 南 心	55	0.81	0.4	1.5	37
④ 北 湖 南 心	56	0.86	0.3	1.9	41
⑤ 北 湖 南 心	56	1.95	0.9	5.0	38
⑥ 水 月 湖 南	47	2.02	1.0	3.5	28
⑦ 菅 々 子 湖 南	56	1.5	0.9	2.2	23
⑧ 久 々 子 湖 南	50	6.73	2.8	13.0	36

表-2 年平均回帰式の係数

地 点	相 関 係 数	A	B	K 日
① 北 湖 北 心	0.313	0.113	0.919	83
② 北 湖 南 心	0.483	0.178	0.879	63
③ 北 湖 南 心	0.687	0.311	0.847	68
④ 北 湖 南 心	0.630	0.336	0.907	53
⑤ 水 月 湖 南	0.068	0.073	2.005	315
⑥ 水 月 湖 南	0.163	0.166	2.065	265
⑦ 菅 々 子 湖 南	0.462	0.229	1.525	121
⑧ 久 々 子 湖 南	0.197	0.631	6.437	182

$L = A \sin 0.0172(T + K) + B$: $T = 1$ 月 1 日からの日数

表-3 全試料集計値 $n = 432$

項目	平均	最小	最大	σ_{a-i}
透 明 度	1.89	0.3	13	2.0
C O D	0.8	0.8	27	2.4
S S	7.0	<1	50	6.5
Chl-a	21.1	0.1	168	24.4
1 / L	0.90	0.08	3.33	0.53

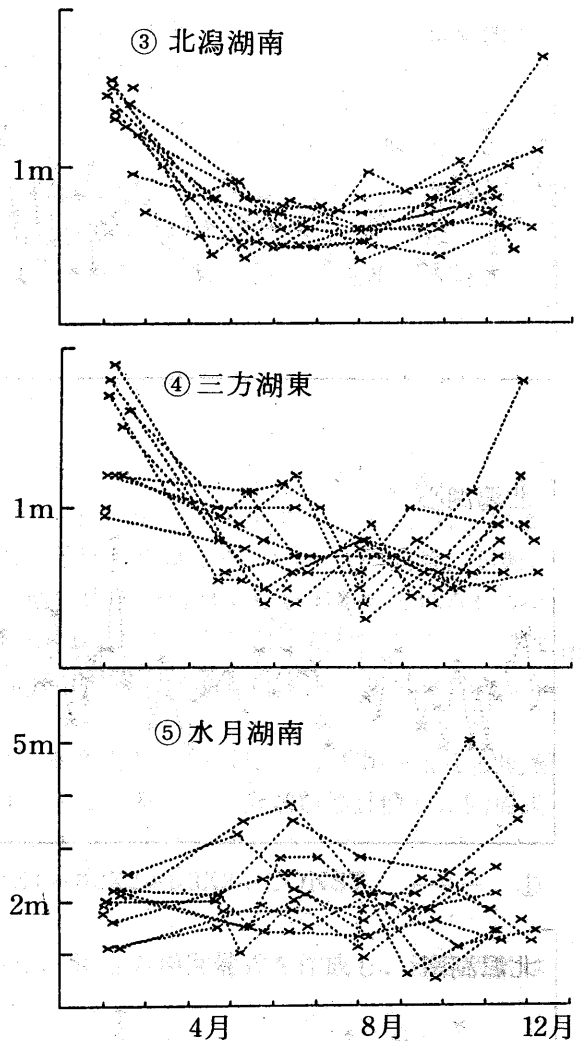


図-3 透明度の年周期

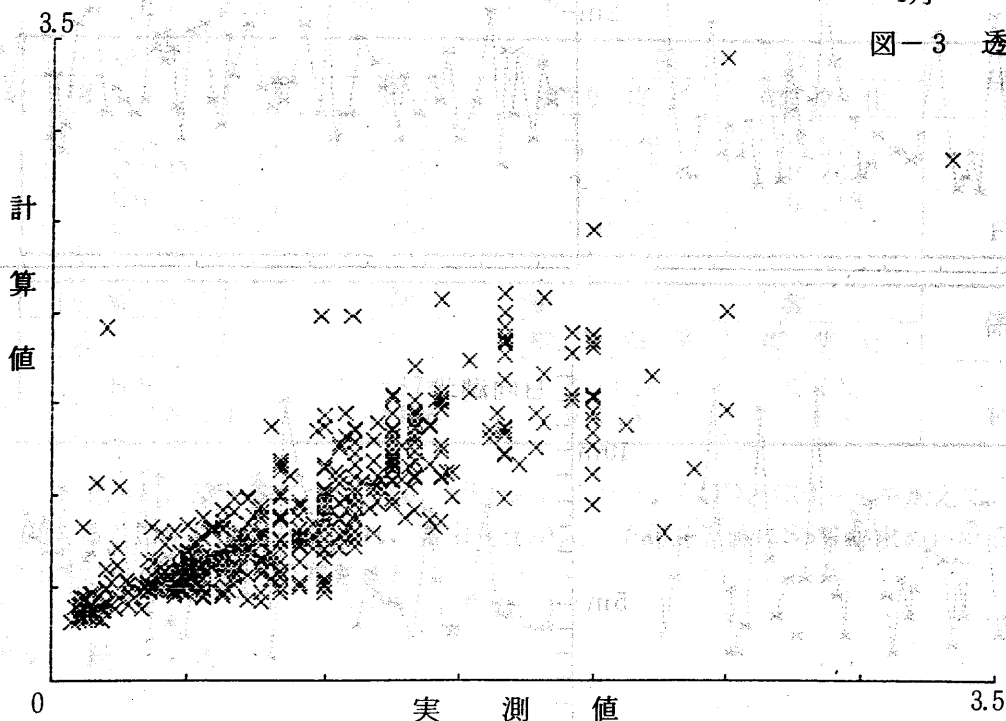


図-4 透明度の逆数 (1/L) の回帰

$$(1/L) = 0.0463 SS + 0.0583 COD + 0.00266 Chla + 0.24$$