

4. 都市近郊河川水質汚染の原因と 解決手法

- 第I章 研究の目的
- 第II章 調査の概要
- 第III章 グランドトルースによる水質分析方法と汚濁状況の把握
- 第IV章 リモートセンシングと画像解析方法
- 第V章 水質がリモートセンシング情報に及ぼす影響
- 第VI章 リモートセンシング情報による水質汚濁状況の推定法
- 第VII章 総合考察
- あとがき

岐阜大学農学部教授 五十崎 恒
岐阜大学農学部教授 西 出 勤
岐阜大学農学部助教授 千 家 正 照
岐阜大学農学部助手 西 村 直 正

第Ⅰ章 研究目的

水は、我々の生活・産業活動には不可欠のもので、生活用水・工業用水・農業用水以外にも漁業・動力・環境用など多方面で利用されている。特に近年の<産業の発達>と<社会生活の向上>に伴って、水の使用量は著しく増大している。しかしながらそれに反して、下水道などの汚水処理施設の整備は立ち遅れ、水圈への汚濁負荷は、増大の一途をたどっている。特に地域排水路としての機能をも担ってきた農業水路の水質汚濁は深刻である。そこで農業サイドにおいても、快適な農業生産環境と農村の生活環境の創出を図るという観点から、水質保全が強く呼ばれるようになってきた。しかしながら従来の採水による調査では、多大な労力と時間を要するだけでなく、広域にわたる水質を短時間に把握することは、きわめて困難である。

そこで、本研究では、農村地域の生産・生活環境の悪化が進行した地域を対象にして、リモートセンシング法の利用により、水質の汚濁状況の面的パターンを、迅速に把握するという方法による水質調査法の可能性について検討することとした。

第Ⅱ章 調査の概要

II-1 地区の概要

調査の対象とした地域は、平成元年度には愛知県西部の津島市を中心としたゼロメートル地帯を流れる、農業用排水路（善太川）である（図II-1-1）。この流域の上流部は、水路の幅が2～3mと狭くなってしまい、水位も低い。特に非灌漑期には、水位が10～20cm程度しかなく、川底の灰黒色の汚泥が見て取れた。一方下流部は、水位が2～3m近くあり、水量は豊富にあるものの、流速はほとんどなく、水が停滞している状態であった。

次いで平成2年度には、岐阜県南部の海津町内の流域を調査対象とした。この地域は、長良川と揖斐川で挟まれており、その約1/2の地域は海拔ゼロメートル以下の輪中地帯である（図II-1-2）。またこの流域は、いくつかの支線・幹線水路を含んでおり、複雑な水系をなしている流域でもある。さらに調査当日においては、中流部付近において大量のアオコの発生が確認された。

なお、両地区とも排水路末端には排水機場があり、常時機械排水が行われている。またこれらの2地区は、農地と市街地が混在しており、そのうえ下水道などの整備も不完全である。そのため、排水路は、農地からの排水だけでなく、生活排水や工場排水及び牛鶏舎からの排水等の流入も多く、汚濁負荷の著しい地区である。

II-2 調査方法の概要

善太川流域において、灌漑期の平成元年8月8日と8月21日の両日に、排水路13地点（上流から1～13）、非灌漑期の平成元年11月16日と12月15日の両日に、排水路13地点（上流から1～13）で表流水（水面下5cm）の採水と簡易な現地試験を併せ行った（図II-1-1）。また平成2年8月24日に

は、海津町内の用排水路15地点（1～6, 21, 31, N1, N2, N3, M1, M2, A1, W1）を対象として、同様の採水試験を行った（図II-1-2）。

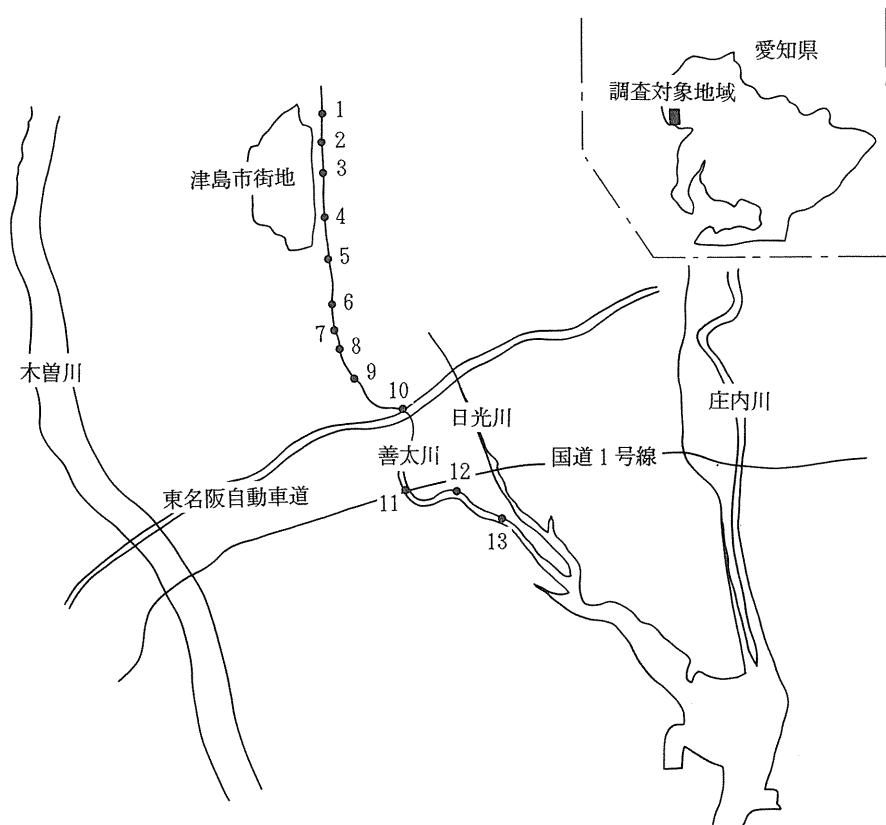
一方、平成元年8月21日と12月15日、平成2年8月24日には、現地における採水と並行して、航空機（セスナ）による赤外白黒、赤外カラー、ナチュラルカラーのフィルムを用いて航空写真撮影を行った。なお航空写真の撮影方法については、IV-1節で述べるものとする。さらに撮影する際には、川底の色や水深の違いが、写真画像に与える影響を同一にするため、以下の地点に一辺50cmの白色板を水面下50cmの位置に設置した。

<白色板を設置した地点>

平成元年8月21日 5D～13D

平成元年12月15日 8D～13D

平成2年8月24日 地点1を除いたすべての地点



図II-1-1

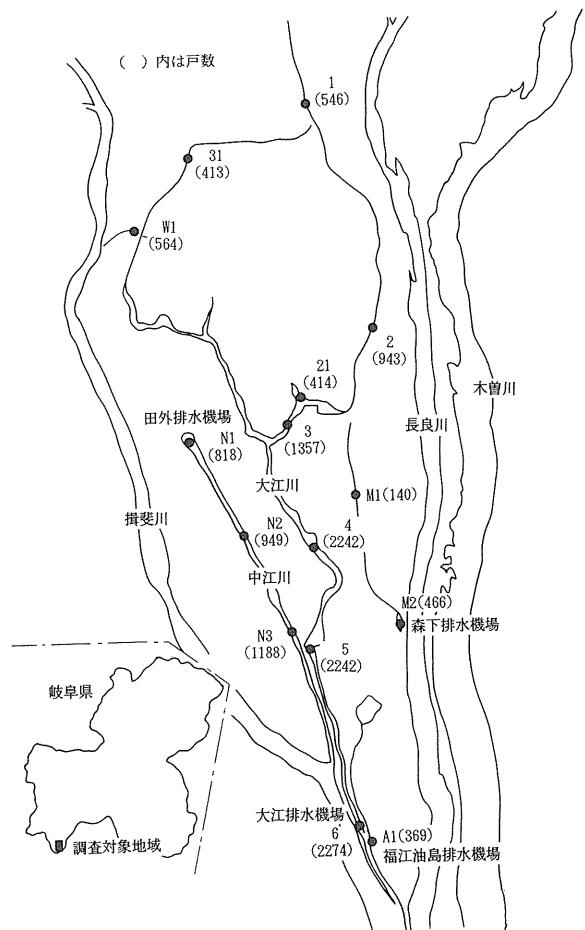


図 II-1-2

第Ⅲ章 グランドトルースによる水質分析方法と汚濁状況の把握

III-1 水質分析の方法

グランドトルースでは、通常用いられている基本的な水質指標によって、水の質的な特徴を把握すると共に、「水の色」を定量的に把握するための試験を併せ行った。

III-1-a 一般的な測定項目について

現地での採水には、吸引式簡易採水器（図III-1）を使用し、2 Lのポリ容器にサンプリングした。また採水時には、各地点におけるD O・p H・E C・水温を電極により測定した。D Oについては、D Oメーターによる測定と同時に、ウインクラー・アジ化ナトリウム変法による測定のために、現地で酸素固定を行った。さらに、気温・気圧・水深・透視度・表面流速・水色を測定すると共に、採水地点付近の状況を観察記録した。

<項目別の測定>

D O : 溶存酸素計により測定

p H : J I S - Z 8 8 0 2 , ガラス電極法

E C : E C メーターにより測定

水温・気温 : サーミスタ温度計

透視度 : 100cm、50cmの透視度計で測定

気圧 : 携帯用気圧計

水色 : Forel-Uhleの水色計により測定

次いで室内での分析項目及び測定法を示す。

<分析項目>

D O, B O D, S S, C O D (M n), C O D (C r) T (試料水全体), C O D (C r) s (濾過した試料水), T N, T P, クロロフィル, 懸濁物質の三原色分解, 濾液の吸光度測定, 生物体数試験

なお懸濁物質の三原色分解と濾液の吸光度測定については、次節で説明を行うものとする。

<項目別の測定法>

D O J I S - K 0 1 0 2 ウインクラー・アジ化ナトリウム変法

C O D (M n) J I S - K 0 1 0 2 過マンガン酸カリウムによる酸性法

C O D (C r) T 及び C O D (C r) s J I S - K 0 1 0 2 ニクロム酸カリウム法

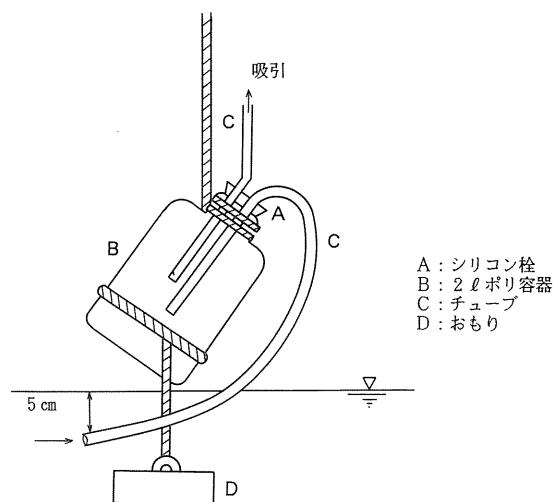
S S J I S - K 0 1 0 2 ガラス纖維濾紙による濾過法

T N J I S - K 0 1 0 2 紫外線吸光光度法

T P J I S - K 0 1 0 2 ペルオキソ二硫酸カリウム分解法

クロロフィル アセトン抽出法・吸光法 (ガラス纖維濾紙使用)

生物体数試験 光学顕微鏡 400倍率使用



図III-1 簡易採水器

III-1-b 水の色を対象とした測定項目

汚濁水の状況を知る方法として、本研究では「水の色」について検討を行った。

一般に汚濁水に含まれる様々な物質は、水に浮遊している懸濁物質と溶け込んでいる溶解性物質に分けられ、それぞれが特殊な性質の色を持つと考えられる。そこで汚濁水の着色の度合いを把握するために、本研究では、懸濁物質の三原色分解と濾液の吸光度測定を行った。

次にその分析方法を示す。

懸濁物質の三原色分解

この方法は、懸濁物質の持つ色の情報を三原色の割合で表現するものである。まずSS試験を終えたガラス繊維濾紙を、画像としてイメージスキャナで読み取る。その濾紙の画像をそれぞれ青(B), 赤(R), 緑(G)の三原色に分解し、各色の割合をパーセントで表示する。このときの画像処理方法は、IV-2節で説明する。

濾液の吸光度測定

この方法は、 $1\text{ }\mu\text{m}$ のガラス繊維濾紙を通過した試料水の濾液について 400~700nm 各波長(波長間隔20nm)における透過パーセントを吸光度計で測定して、三刺激値X, Y, Zを求め、色度座標x, yを算出し、刺激値Y及び色度座標x, yで試料の色を表すものである。

また色を表す場合は原則として刺激値Y及び色度座標x, yによるが、本研究では、主波長及び刺激純度で色度座標x, yに変えている。

次にその算出法及び色度図を示す。

1) 三刺激値及び色度座標x yの求め方

表(III-1-1)の各波長における透過パーセント $\tau(\lambda)$ から、次式によって三刺激値X, Y, Z及び色度座標x, yを算出する。

$$X = \sum f_x(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$$

$$Y = \sum f_y(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$$

$$Z = \sum f_z(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$$

$$x = X / (X + Y + Z)$$

ここに、 X : 刺激値X

Y : 刺激値Y

Z : 刺激値Z

$f_x(\lambda)$: 波長 λ での f_x

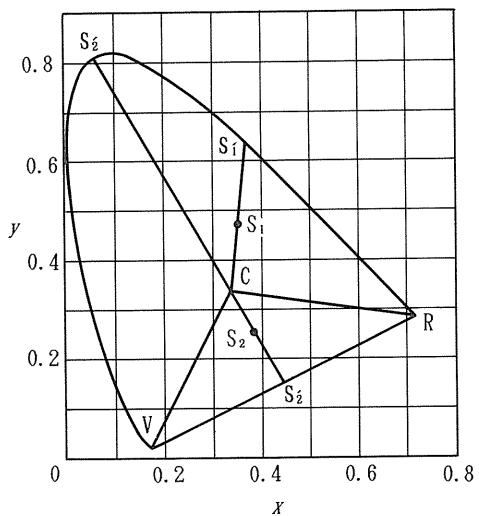
$f_y(\lambda)$: 波長 λ での f_y

$f_z(\lambda)$: 波長 λ での f_z

$\tau(\lambda)$: 波長 λ での透過パーセント

表(III-1-1)
波長間隔20nmでX, Y, Zを計算
するための重値関数 f_x , f_y , f_z

波 長	標準の光 C		
	f_x	f_y	f_z
400	0.028	-0.002	0.103
420	3.008	0.087	14.459
440	7.593	0.509	38.245
460	6.660	1.383	38.216
480	2.360	3.206	19.546
500	0.068	6.907	5.746
520	1.196	12.876	1.444
540	5.591	18.262	0.359
560	11.751	19.594	0.073
580	16.797	15.992	0.026
600	17.899	10.694	0.013
620	14.022	6.262	0.003
640	7.440	2.896	0.000
660	2.801	1.029	0.000
680	0.619	0.224	0.000
700	0.226	0.081	0.000
合 計	98.059	100.000	118.233
色度座標	0.3100	0.3162	0.3738
x, y, z			



図III-1-2 色 度 図

2) 主波長の求め方

色度図(図III-1-2)の中の点Cは無色の色度座標であり、 $x = 0.3101$, $y = 0.3163$ に相当する。ある色に対応する色度座標が、直線RCと直線VCとスペクトル軌跡によって囲まれた面積内の点 S_1 で表される場合、その色の主波長 λ_d は、直線CS₁の延長線とスペクトル軌跡との交点 S'_1 から求めることができる。

3) 刺激純度の求め方

図(III-1-2)において色度座標が点 S_1 によって表される色の場合には、刺激純度Pe(%)は次式によって求めることができる。

$$Pe = \{ (x - x_c) / (x \lambda - x_c) \} \times 100$$

$$\text{または } Pe = \{ (y - y_c) / (y \lambda - y_c) \} \times 100$$

ここに、 x , y : 点 S_1 の座標

x_c , y_c : Cの座標

$x \lambda$, $y \lambda$: 点 S'_1 の座標

また、色度座標が点 S_2 で表される色の場合には、刺激純度Peは、次式によって求め、その値に%を付ける。

$$Pe = \{ (x - x_c) / (x_d - x_c) \} \times 100$$

または $Pe = \{ (y - y_c) / (y_d - y_c) \} \times 100$

ここに、 x, y : 点 S_2 の座標
 x_c, y_c : C の座標
 x_d, y_d : 点 S_2' の座標

III-2 グランドトルースによる水質分析

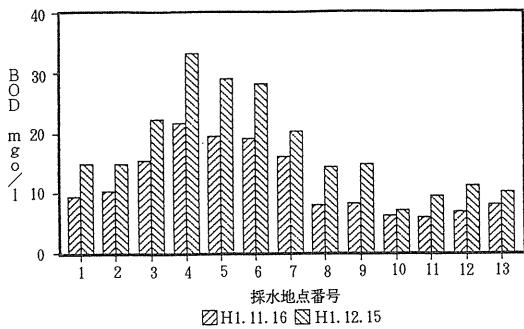
III-2-a 善太川における水質分析について

まず本調査水路では、農業用水の供給が停止する非灌漑期において、BOD, COD (Mn) とともに数値が高く、汚濁が進行している（図III-2-1～2）。さらにBODでは、都市部からの汚水が流れ込む地点（地点番号4, 5, 6）付近で汚濁傾向が強く表れており、その下流では自浄作用の効果で、水質改善の傾向がみられる。しかしBODやCOD (Mn) は、総合的な汚濁指標としての意義はあるものの、水の汚れを汎用的に表すものではないことに留意するべきである。

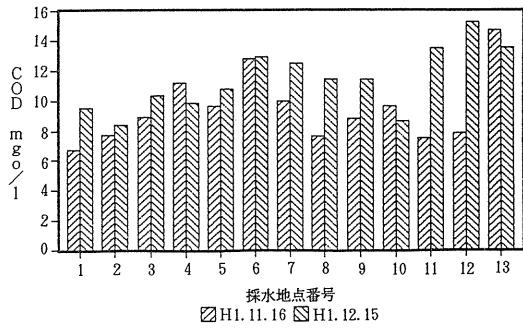
そこで汚濁の質的な傾向についてみると、灌漑期におけるSSについては上流から下流に行くにしたがい、数値が高くなっているのに対し刺激純度では、上流ほど汚れている（刺激純度の値が大きいほど、試料水の濾液は汚れていることを示す）、という一見、相反する結果が得られた（図III-2-3～4）。一方非灌漑期におけるSS（図III-2-5）では、灌漑期ほど著しい傾向はみられないものの、護岸工事の影響を受けた地点（H 1.11.16の調査地点6、及びH 1.12.15の調査地点7では、土砂等によりSS量が異常に多くなっている）を除けば、流れの停滞する最下流部付近で、上流よりも数値がやや高いという傾向が身受けられる。これに対して刺激純度は（図III-2-6）、上流部から中流部まで一定しているものの、最下流部付近では数値が急減している。このように灌漑期、非灌漑期ともに上流から下流にかけて、水質の汚濁物質の存在形態は異なっていると判断される。

ところで懸濁物質、すなわちSS成分の構成物は、光学顕微鏡の観察によって、そのほとんどが藻類を中心とした微生物で占められていることが判明した（表III-2-1）。さらにその生物体数は、下流に行くにしたがい増加する傾向にあった（図III-2-7）。そのことは、SSとクロロフィル-abcの高い正相関にも顕著に現れている（図III-2-8）。また、特に灌漑期において、クロロフィル-aと水温の間には明らかな正の相関が得られた（図III-2-9）。さらに藻類の盛んな活動は、光合成による酸素生産を引き起こすため、クロロフィル-aとDOでは、高い正の相関を示している（図III-2-10）。そして光合成で消費される水中の二酸化炭素が、pHにまで影響を与えた結果、DOとpHも正の相関を示した（図III-2-11）。一方、クロロフィル-abcとTPについてみたところ、上流部のクロロフィル量の少ない地点ではTPが多量に存在するのに対し、下流部のクロロフィル量の多い地点では、TPは減少するという負の相関を得た（図III-2-12）。さらにTNについても同様の結果が得られた（図III-2-13）。

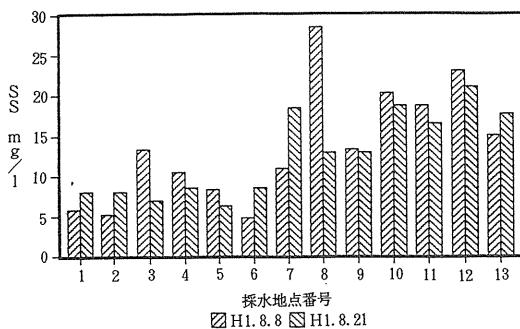
この様に本流域では、SSの主成分である藻類が、光合成活動やそれに付随する増殖活動によって、水質を大きく変化させていると考えられる。



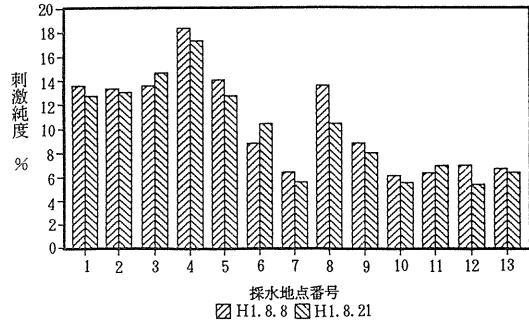
図III-2-1 BODの変化量（善太川）



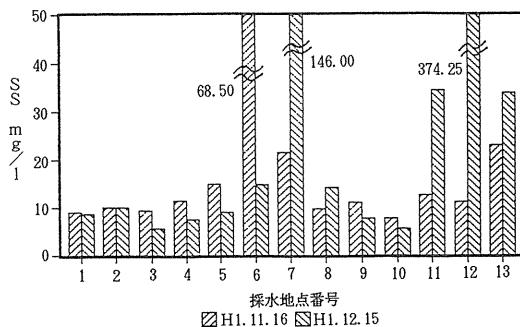
図III-2-2 CODの変化量（善太川）



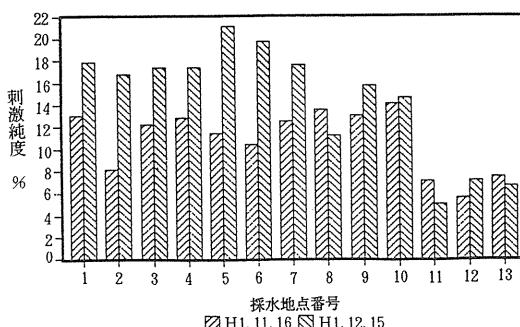
図III-2-3 SSの変化量（善太川）



図III-2-4 刺激純度の変化（善太川）



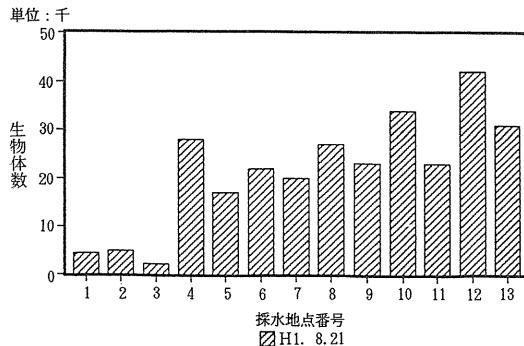
図III-2-5 SSの変化量（善太川）



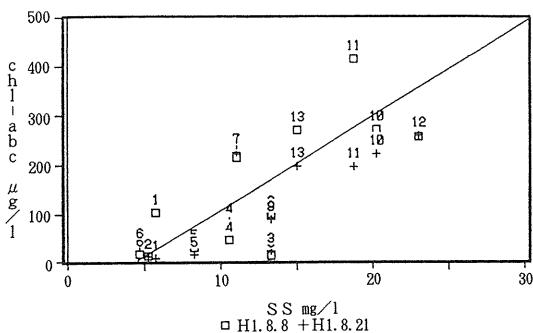
図III-2-6 刺激純度の変化（善太川）

表(III-2-1)
地点ごとの生物体数の変化

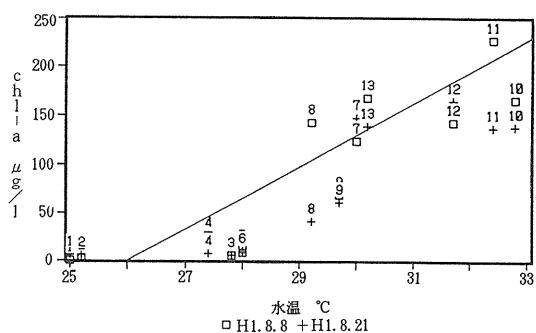
地点番号	生物体数 (固体/mL)
1	4.5E+03
2	5.0E+03
3	2.2E+03
4	2.8E+04
5	1.7E+04
6	2.2E+04
7	2.0E+04
8	2.7E+04
9	2.3E+04
10	3.4E+04
11	2.3E+04
12	4.2E+04
13	3.1E+04



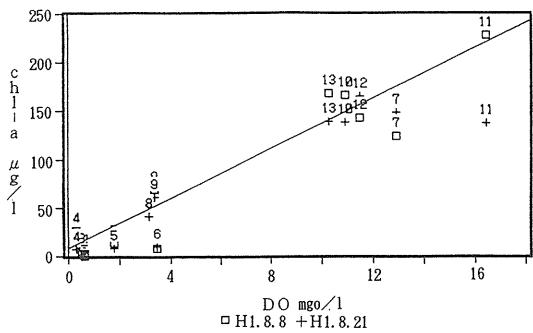
図III-2-7 生物体数の変化（善太川）



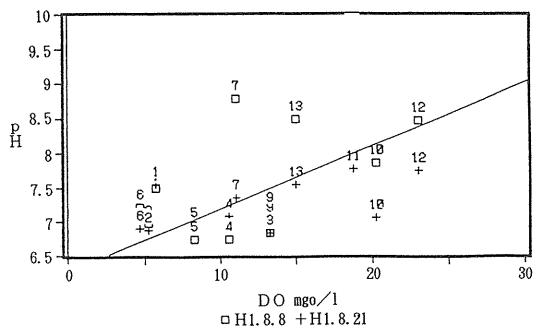
図III-2-8 SSとchl-aの関係(善太川)



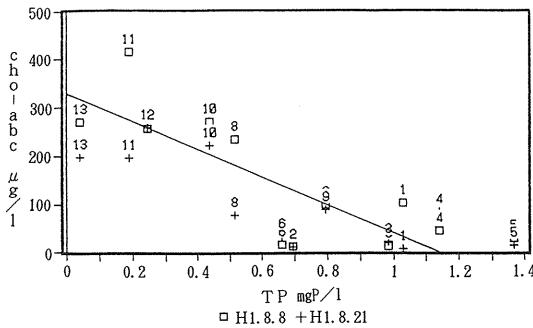
図III-2-9 水温とchl-aの関係(善太川)



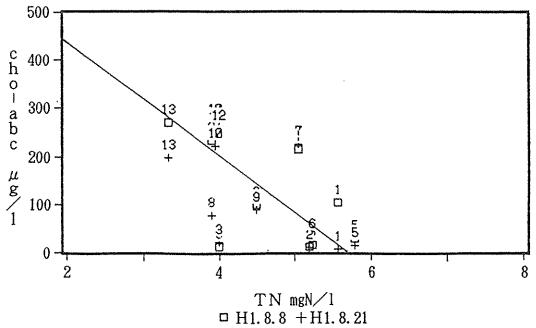
図III-2-10 DOとchl-aの関係(善太川)



図III-2-11 DOとpHの関係(善太川)



図III-2-12 TPとchl-aの関係(善太川)



図III-2-13 TNとchl-aの関係(善太川)

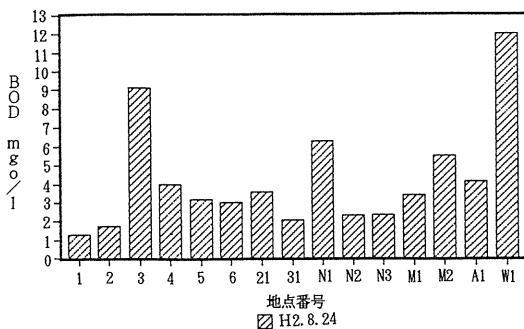
III-2-b 海津町における水質分析について

まずBOD, CODについての分析結果を(図III-2-14~16)に示す。この図より調査地点3, N1, W1において数値が高く、その下流域でも汚濁が進行している傾向がうかがえる。この内特に地点3, N1は、集落からの污水の流れ込む中流部付近に位置している。またTP, TNの数値は全般的に高く、本流域は富栄養化していると考えられる。

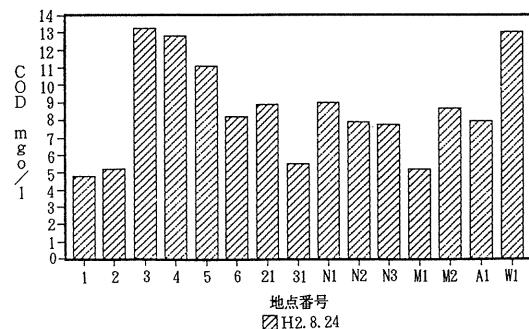
次に懸濁物質と溶解性物質についてみると、中流部付近でSS量が多くなっているのに対し、刺激純度は、相反して低い数値を得た(図III-2-17~18)。これは善太川でも見られたように、汚濁物質の存在形態が異なっているためであると考えられる。

そこで本流域のSS成分について検討してみる。まず光学顕微鏡の観察では、藻類の存在が多数確認され、その中には、らん藻類ミクロキスティス(通称アオコ)も認められた。通常アオコは、富栄養化の進んだ水域で発生しており、本流域においては、特に中流部付近でその存在を多数確認している。このことからも中流部では、汚濁が進んでいることがうかがえる。なおクロロフィル-abcとSSの関係をみてみると、正の相関を示しており(図III-2-19)、クロロフィル-aとDOにおいても同様の相関を得た(図III-2-20)。しかしクロロフィル-aと水温及びDOとpHについては、明確な相関を得ることはできなかった。これは藻類の活動以外の人為的な要因によって水質が、影響を受けているためではないかとも推測される。一方クロロフィルとTNの関係をみてみると善太川と異なって、正の相関が見受けられた(図III-2-21)。またクロロフィルとTPについては特に相関は身受けられなかった(図III-2-22)。これは本流域での調査が、一つの河川で総合的に行われたのではなく、いくつかの河川及び支線で複合的に行われたために、各々の水系の水質の特性がミックスされたことによるものと思われる。

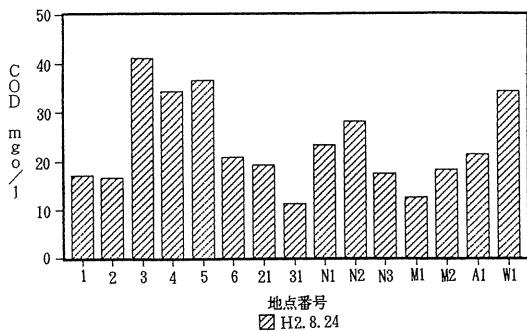
以上より本流域では、特にアオコ発生が特徴的であるものの、藻類の水質への影響は見受けられるようである。



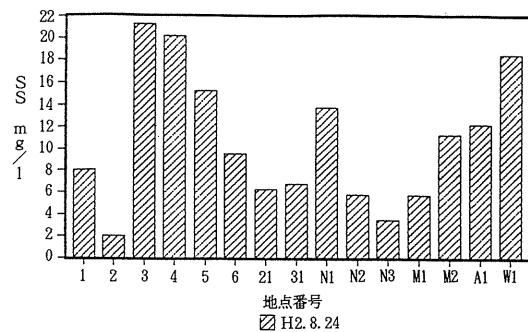
図III-2-14 BODの変化量(海津町)



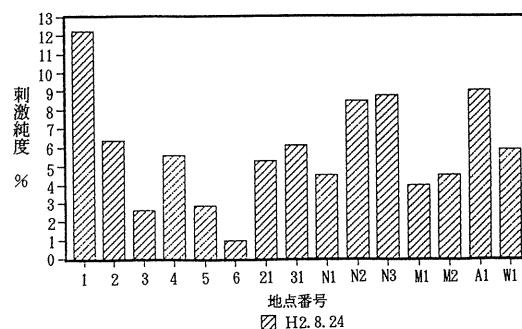
図III-2-15 COD (Mn)の変化量(海津町)



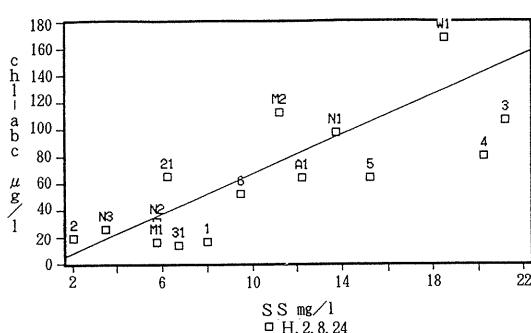
図III-2-16 COD (Cr)の変化量 (海津町)



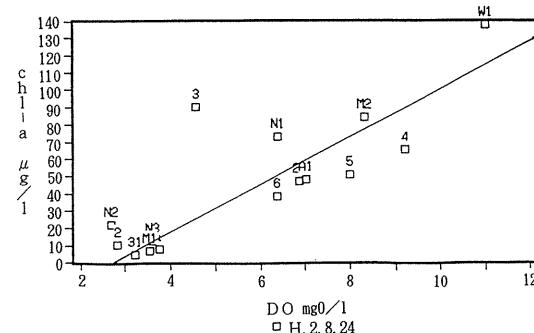
図III-2-17 SSの変化量 (海津町)



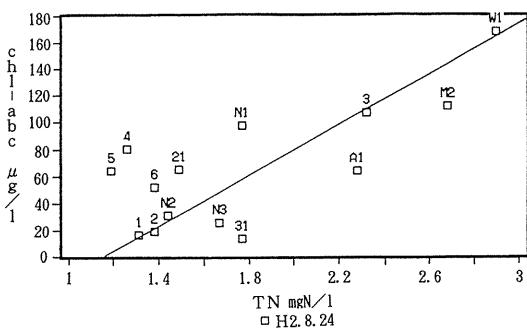
図III-2-18 刺激純度の変化 (海津町)



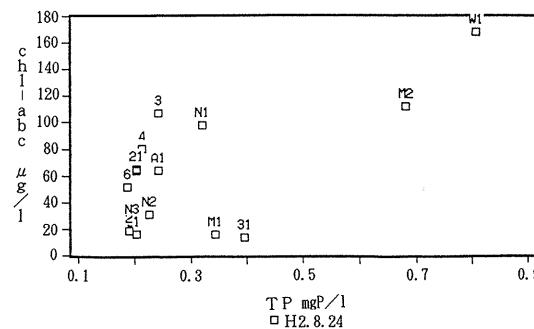
図III-2-19 SSとchl-a/b/cの関係 (海津町)



図III-2-20 DOとchl-a/b/cの関係 (海津町)



図III-2-21 TNとchl-a/b/cの関係 (海津町)



図III-2-22 TPとchl-a/b/cの関係 (海津町)

III-3 農業用排水路における水質汚濁の一般的特徴

一般に両調査地域のように、農地と市街地が混在している地域では、生活排水による農業排水路への水質汚濁が認められ、その汚濁負荷は著しく、農業用排水路は富栄養化の傾向を示している。

一方、この様な農業排水路の水質は、主に藻類を中心とする微生物と相互に影響し合うため、逆にその藻類の活動を把握することで、その水質の汚濁状況をある程度までつかむことが可能であると考えられる。すなわち藻類の成分であるクロロフィル量から、他の水質指標を定量的に推定することができると考えられる。

そこで藻類の活動に影響されると考えられる水質指標（SS, DO, PH, TN, TP）の量を、クロロフィル-abcの実測値を独立変数として最小二乗法で推測してみることとした。以下に、それぞれの推定式及び相関係数を示す。

善太川における推測

SSの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{ss} = 0.1977 x_{ch1} - 0.2274 \text{ 相関係数 } r = 0.51 \text{ (注)}$$

<灌漑期だけのデータ>

$$y_{ss} = 0.0437 x_{ch1} + 7.4155 \text{ 相関係数 } r = 0.80$$

DOの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{do} = 0.0266 x_{ch1} + 1.5810 \text{ 相関係数 } r = 0.87$$

pHの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{ph} = 0.0046 x_{ch1} + 6.8135 \text{ 相関係数 } r = 0.87$$

TPの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{tp} = (-0.0018) x_{ch1} + 0.9926 \text{ 相関係数 } r = 0.66$$

<灌漑期だけのデータ>

$$y_{tp} = (-0.0021) x_{ch1} + 0.9001 \text{ 相関係数 } r = 0.75$$

TNの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{tn} = (-0.0018) x_{ch1} + 4.2605 \text{ 相関係数 } r = 0.12$$

- y の値はそれぞれの推測値
- x_{ch1} はクロロフィル量
- すべてのデータ数は52
- 灌漑期だけのデータ数は26

海津町における推測

SSの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{ss} = 0.1049 x_{ch1} + 4.1388 \text{ 相関係数 } r = 0.77$$

DOの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{do} = 0.0476 x_{ch1} + 2.8621 \text{ 相関係数 } r = 0.82$$

pHの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{ph} = 0.0099 x_{ch1} + 6.9933 \text{ 相関係数 } r = 0.61$$

TPの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{TP} = 0.0028x_{ch1} + 0.1424 \text{ 相関係数 } r = 0.67$$

TNの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{TN} = 0.0076x_{ch1} + 1.7217 \text{ 相関係数 } r = 0.63$$

- y の値はそれぞれの推測値

- x_{ch1} はクロロフィル量

- すべてのデータ数は15

善太川と海津町を併せた場合の推測

SSの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{SS} = 0.1962x_{ch1} - 0.3739 \text{ 相関係数 } r = 0.52 \text{ (注)}$$

<灌漑期だけのデータ>

$$y_{SS} = 0.0471x_{ch1} + 7.2468 \text{ 相関係数 } r = 0.76$$

DOの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{DO} = 0.0254x_{ch1} + 2.2839 \text{ 相関係数 } r = 0.81$$

pHの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{pH} = 0.0044x_{ch1} + 6.9489 \text{ 相関係数 } r = 0.76$$

TPの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{TP} = (-0.0014)x_{ch1} + 0.8135 \text{ 相関係数 } r = 0.42$$

TNの推測 <すべてのデータを含む>

$$y_{TN} = (-0.0002)x_{ch1} + 0.0019 \text{ 相関係数 } r = 0.016$$

- y の値はそれぞれの推測値

- x_{ch1} はクロロフィル量

- すべてのデータ数は67

• 灌漑期だけのデータ数は、善太川の灌漑期のデータと海津町のすべてのデータを併せた数

51

(注) 善太川の非灌漑期のデータには、護岸工事の影響によると思われるSSの異常に高い値が得られた。本解析ではこのデータも含めているが、これを除外するとSSとクロロフィル量の相関係数はかなり上昇する。

以上のような結果から、一般にリモートセンシングより得られたクロロフィル量から、特にSS, DOの量をかなりの程度推測することができると判断される。また人為的な作用による酸性物質やアルカリ性物質の流入がなければ、pH値も充分に推測できるであろう。さらにTP, TNについては、クロロフィルと正の相関がある場合や負の相関のある場合があるが、このような流域ごとの特性を把握しておくことにより、クロロフィルからの推測がある程度可能であると考えられる。

第IV章 リモートセンシングと画像解析方法

IV-1 航空写真の撮影方法

航空撮影にはセスナ機を用いて、善太川において平成元年度8月21日と同じく12月15日、海津町において平成2年度8月24日に撮影を行った。また写真撮影には80mm標準レンズを用い、フィルムはコダックエアロカラー2445（善太川）、フジ・スーパーHG100、120サイズ（海津町）を使用した。

なお撮影高度は、調査地点により多少の差異はあるが、ほぼ250～300mである。

撮影日には採水調査も併せ行った。また写真撮影時刻は採水時刻となるべく並行するように、午前11時～午後1時の間とした。

IV-2 写真画像の解析方法

写真画像の解析には、低高度撮影（H=200m～300m）でのナチュラルカラーフィルムより作成した6倍伸のプリントを用い、イメージスキャナ（エプソンGT4000）を使用して青(B)、赤(R)、緑(G)の三原色分解値を、情報としてパソコン（PC9801VX2）に取り込んだ。

その際の解像度は、縦、横とも800dot/inch、すなわち1dot画素あたり0.003mm間隔に設定した。これはつまり、写真プリント中の一辺を $3\mu m$ とする正方形内にある色の情報を、それぞれ取り込んだことに相当する。また各々の色の濃度は8ビット、すなわち $2^8 (= 256)$ 段階に分解した。

次に、パソコンに取り込んだ画像から、白色板上及び水路上で 7×7 dots合計49個の画素を選び、三原色についてそれぞれ平均値を求めて（%）で表示した。

したがって簡単に言えば、写真画像の $21\mu m$ 四方の正方形内の三原色の濃度を、256段階に分解して、その平均値を取ることになる。

第V章 水質がリモートセンシング情報に及ぼす影響

V-1 水の色に影響を与える因子について

リモートセンシングによる解析を行う上で、どのような因子が水の色に影響を与えていているのか知る必要がある。

ところでIII章で述べたように、水の色を考える上で重要な要素が二つ考えられた。一つは藻類を主な構成成分とする懸濁物質であり、もう一つは濁液に含まれる溶解性物質である。

そこでまず、懸濁物質についての三原色分解を行った。このB、R、Gの平均値である $(B+R+G)/3$ とSSとの関係をみると、SSの量が多い地点ではこの平均値が低い値、すなわち黒っぽい色を示し、両者はかなり高い負の相関を示した（図V-1-1～2）。またSSの緑色の強さを表す $G/(B+R+G)$ とクロロフィル-abcの関係では、正の相関がみられた（図V-1-3～4）。

以上のことから懸濁物質の色の明度はSSを、懸濁物質の緑色の相対的な強さはクロロフィル量を、反映していると見なし得ると判断される。またIII章で示したように、農業用排水路の場合、SSの

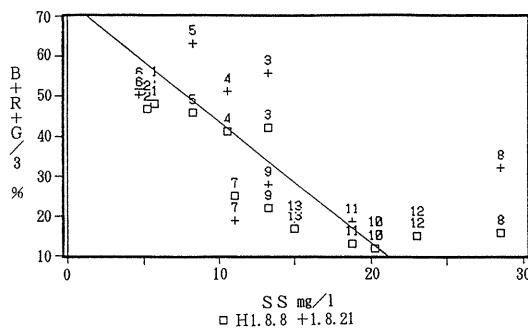
構成成分は藻類を主体としていることが明らかである。したがって本研究では、クロロフィル-abcの総量を懸濁物質の色を相対的に示す指標として用いるものとする。

次に吸光度測定で得られた濁液の色が何に起因しているかを明らかにするために、濁液の色と他の水質項目との相関を調べてみた。

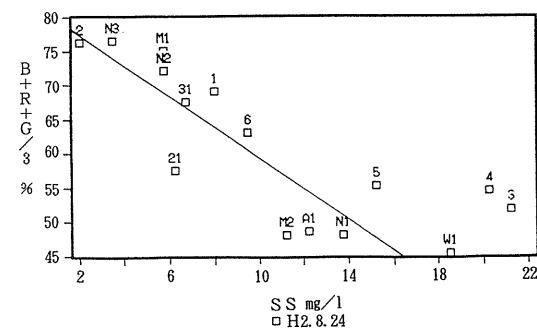
そこでまず濁液の主波長は、図(V-1-5~6)で示すように善太川で566nm~578nm、海津町で565nm~580nmという黄(Y)~黄緑(YG)のバンド内に存在しており、その明度とされる刺激値と彩度の指標である刺激純度は、両流域ともほぼ一価の関係にあることが判明した(図V-1-7~8)。そこで刺激純度を濁液の色の指標とした。

この刺激純度とCOD(Cr)s, TP, TNそれぞれについて関係を見たところ、善太川では、特に灌漑期において互いに明確な正の相関が得られた(図V-1-9~11)。しかし海津町においては、三指標とも明確な相関を得ることはできなかった。これは調査流域内に複数の水系が存在しているためであると思われる。

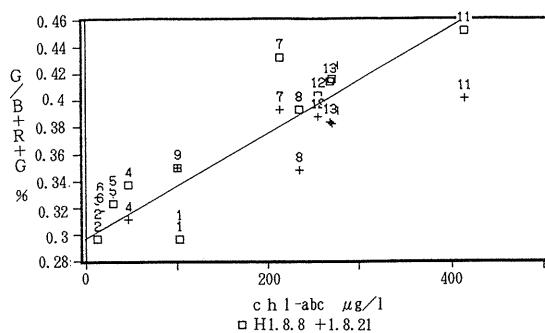
以上より濁液の色は、藻類などが利用できる溶解性の栄養物質の量を反映していると見なし得ると考えられる。



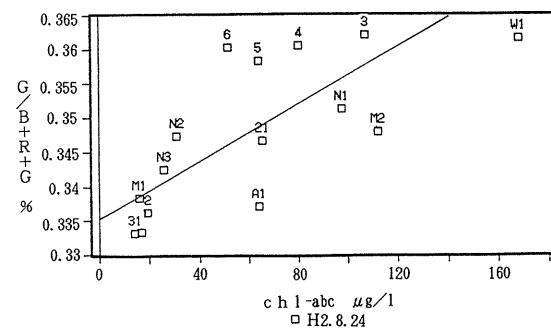
図V-1-1 SSと(B+R+G)/3の
関係(善太川)



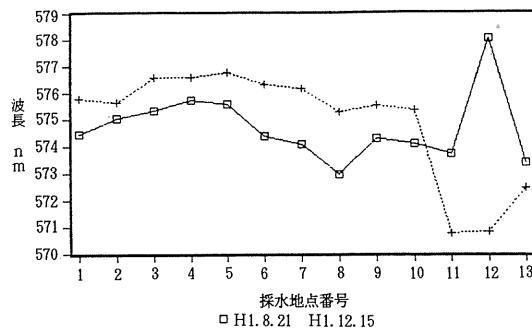
図V-1-2 SSと(B+R+G)/3の
関係(海津町)



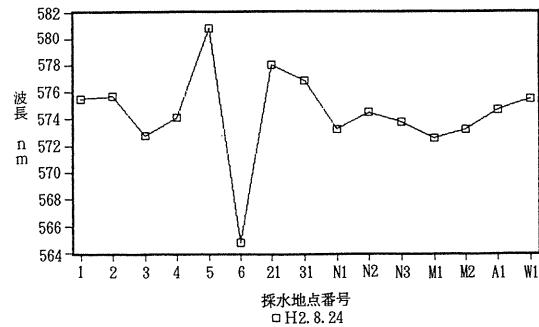
図V-1-3 chl-abcとG/(B+R+G)
の関係(善太川)



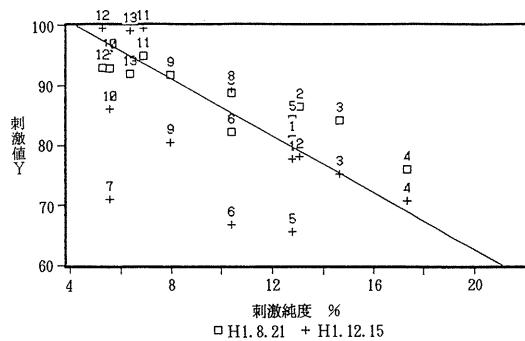
図V-1-4 chl-abcとG/(B+R+G)
の関係(海津町)



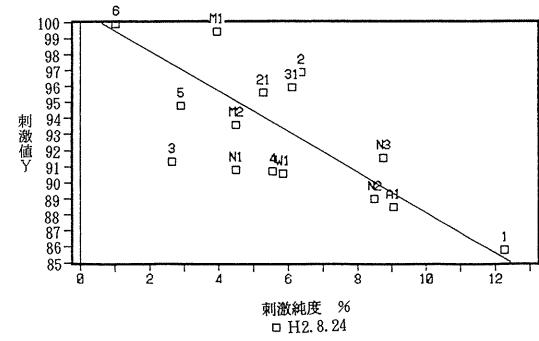
図V-1-5 主波長の変化（善太川）



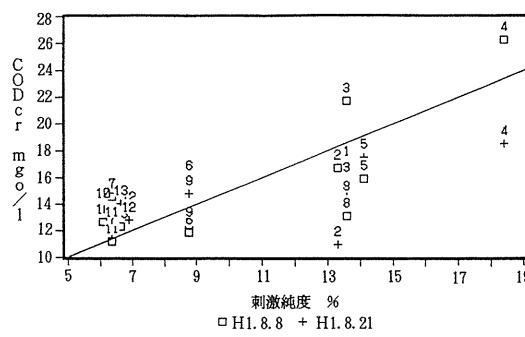
図V-1-6 主波長の変化（海津町）



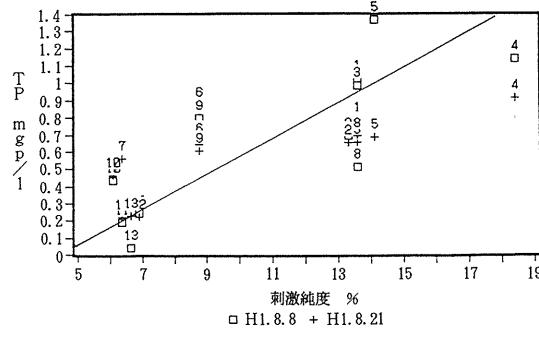
図V-1-7 刺激純度と刺激値Yの関係(善太川)



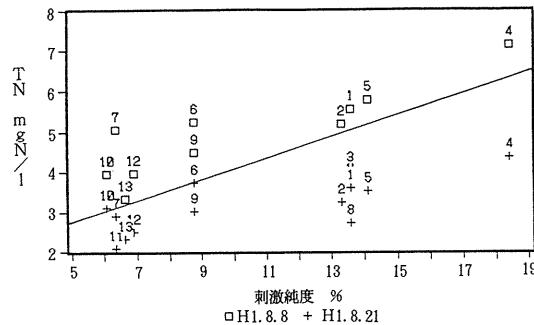
図V-1-8 刺激純度と刺激値Yの関係(海津町)



図V-1-9 刺激純度とCOD(Cr)Sの関係(善太川)



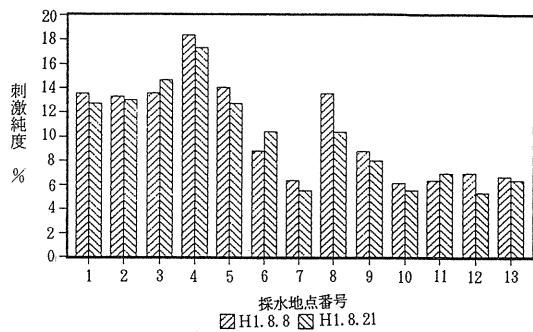
図V-1-10 刺激純度とTPの関係(善太川)



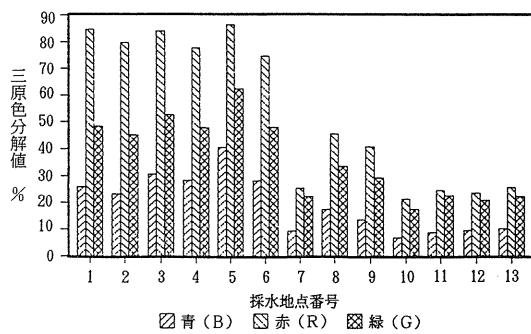
図V-1-11 刺激純度とTNの関係(善太川)

さらに、採水地点による刺激純度の変化を見たところ、善太川においては上流ほど濁っており、下流は透明に近い傾向を示した（図V-1-12）。これに対しSSの三原色分解値は、上流が濾紙の色を反映して白っぽく、下流ほど黒っぽい色をしており（図V-1-13）、刺激純度と全く逆の傾向がうかがえた。また海津町については善太川ほど明確でないが、明らかに同様の傾向を示している。

すなわち本調査流域では、クロロフィルが溶解性の栄養物質を吸収し増殖する、といった汚濁の質的傾向を持っており、これが水の色にも影響を及ぼしていると考えられる。



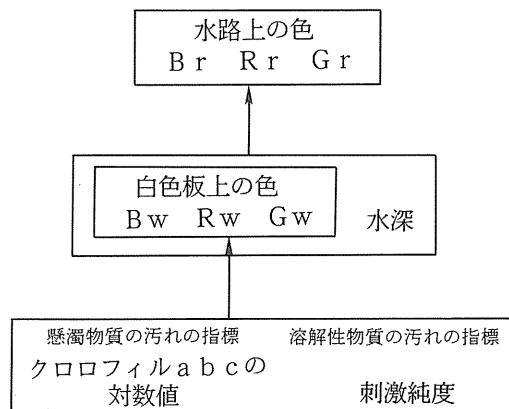
図V-1-12 刺激純度の変化（善太川）



図V-1-13 SSの三原色分解値の変化
(善太川(8.21))

V-2 水質がリモートセンシングデータに及ぼす影響の分析

ここでは重回帰分析により、グランドトルースによる分析結果が、リモートセンシングの解析データに与える影響について検討する。その際の解析手順を（図V-2-1）に示す。



図V-2-1

さてV-1節で述べたように水の汚れた色は、クロロフィル-abcの総和と濾液の刺激純度で表現できた。そこでまずクロロフィル-abcの対数値と刺激純度の2つを独立変数とし、白色板上における写真画像の三原色分解値Bw, R_w, G_wの各値をそれぞれ従属変数とした場合の重相関係数rを、善太川・海津町（アオコが確認された地点3, N1, 21のデータを含んだ場合と除外した場合）・両データを用いた5つのケースで算出した。

Case I - 1 - a : 善太川だけのデータ

Case I - 2 - a : 海津町だけのデータ

（アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合）

Case I - 2 - b : 海津町だけのデータ

（アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合）

Case I - 3 - a : 善太川と海津町を併せたデータ

（アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合）

Case I - 3 - b : 善太川と海津町を併せたデータ

（アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合）

備考：善太川では水深50cm以下の地点のデータを除外

海津町では水深100 cm以下の地点のデータを除外

ここでアオコによるデータの区別は、採水時と航空撮影時とでアオコの流亡により水面の状況が変化しており、その水本来の水質を反映しているとされる写真上の色が、アオコによって阻害されていると考えられるためである。

なおクロロフィルについて対数値を使用したのは、クロロフィル量の急増にともない、水中の上下に存在するクロロフィルが重なり合い、その量の違いが写真上の色に反映されにくくと判断されたためであり、この非線形的な効果を線形化する目的で対数を取った。

ここで分析結果を表（V-2-1～5）に示す。

まずCase I-1-aにおいてBw, R_w, G_wの重相関係数rは、0.89以上と高い数値を示し、Case I-2-aでは、R_wについてr=0.713と多少低い値をとるもの、Bw, G_w及びCase I-2-bのBw, R_w, G_wはr=0.77以上となった。さらにCase I-3-aとCase I-3-bでは、アオコ確認地点のデータの有無にかかわらずr=0.85以上と高い数値を得た。よって全ての推測値の有効性は、充分に認められた。

したがって白色板上の水の色は、水の汚れそのものをかなりの程度反映していると考え得ることが判断できる。

次に写真画像の水路部分の三原色分解値をBr, R_r, G_rとすると、これらは一般に、水の汚れとともに川底の色や水深の影響も受けていると考えられる。そこで川底の色が無視できると考えられる水深、善太川では50cm以上、海津町では100 cm以上の地点だけを対象に、Bw, R_w, G_w分解値と水深とを独立変数とし、Br, R_r, G_rの各値をそれぞれ目的変数とした場合の重相関係数rを、同様に5つのケースで算出した。

(表V-2-1)
Case I-1-a 善太川 (水深50cm以下除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B w	log(chl)	-19.625	9.037	0.892	14
	刺激純度	1.362	1.522		
	定 数 項	62.147	30.775		
R w	log(chl)	-27.111	13.008	0.900	14
	刺激純度	2.480	2.190		
	定 数 項	69.710	44.298		
G w	log(chl)	-23.413	10.691	0.908	14
	刺激純度	2.156	1.800		
	定 数 項	68.371	36.407		

(表V-2-2)
Case I-2-a 海津町 (アオコ発生地点を含む場合)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B w	log(chl)	-34.189	5.013	0.901	14
	刺激純度	-2.068	0.723		
	定 数 項	136.402	10.444		
R w	log(chl)	-19.977	6.003	0.717	14
	刺激純度	-0.186	0.866		
	定 数 項	125.326	12.507		
G w	log(chl)	-24.089	4.811	0.834	14
	刺激純度	-0.954	0.694		
	定 数 項	128.337	10.024		

(表V-2-3)
Case I-2-b 海津町 (アオコ発生地点を除外した場合)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B w	log(chl)	-34.428	5.964	0.904	11
	刺激純度	-2.173	0.846		
	定 数 項	137.117	11.795		
R w	log(chl)	-21.470	6.192	0.775	11
	刺激純度	-0.336	0.878		
	定 数 項	127.788	12.246		
G w	log(chl)	-24.907	5.388	0.855	11
	刺激純度	-1.054	0.764		
	定 数 項	129.709	10.656		

(表V-2-4)

Case I-3-a 海津町と善太川（アオコ発生地点を含む場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B w	log(chl)	-45.799	4.049	0.916	28
	刺激純度	-3.298	0.623		
	定数項	159.223	10.126		
R w	log(chl)	-63.525	8.089	0.846	28
	刺激純度	-4.546	1.245		
	定数項	213.638	20.228		
G w	log(chl)	-53.859	5.964	0.876	28
	刺激純度	-3.685	0.918		
	定数項	187.196	14.914		

(表V-2-5)

Case I-3-b 海津町と善太川（アオコ発生地点を除外した場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B w	log(chl)	-45.395	4.170	0.919	25
	刺激純度	-3.099	0.678		
	定数項	156.334	10.759		
R w	log(chl)	-62.426	7.960	0.858	25
	刺激純度	-3.908	1.295		
	定数項	204.899	20.543		
G w	log(chl)	-53.058	5.942	0.886	25
	刺激純度	-3.227	0.967		
	定数項	180.922	15.334		

ここで分析結果を表(V-2-6~10)に示す。

まず善太川のデータを使用したCase I-1-aにおいて、B r, R r, G r の推定はいずれについても $r = 0.95$ 以上と非常に高い数値を得た。一方海津町のデータを用いたCase I-2-a, b では、重回帰係数がかなり低かった。しかしながら両者のデータを併せたCase I-3-a, b をみてみると、 $r = 0.86$ 以上となり高い推測性を示した。ここで海津町で推測性が低かったのは、透視度が善太川よりも大きく、50cm以上の地点が多いため白色板上(水深50cm)の色と水路上の色では、水深50cm以上の水質の影響を受けて、画像に表れる色の性質が違うものになっているためであると思われる。なお両者のデータを併せることによって、中間値を得たと思われる。したがってB r, R r, G r は水本来の色の特性を反映しているものと判断される。

すなわち次節で詳しく述べるように水路上の色の三原色分解を用いて、逆にクロロフィルや刺激純度を推測できる可能性のあることが明らかになった。

(表V-2-6)

Case I -1-a 善太川 (水深50cm以下除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B r	水深	-0.025	0.012	0.974	14
	B w	1.287	0.464		
	R w	-0.268	0.331		
	G w	-0.077	0.644		
	定数項	-0.363	4.685		
R r	水深	-0.036	0.757	0.950	14
	B w	1.660	0.019		
	R w	-0.376	1.050		
	G w	-0.190	0.540		
	定数項	-14.847	7.645		
G r	水深	-0.030	0.018	0.956	14
	B w	1.101	0.697		
	R w	-0.435	0.497		
	G w	0.357	0.967		
	定数項	-5.566	7.042		

(表V-2-7)

Case I -2-a 海津町 (アオコ発生地点を含む場合)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B r	水深	-0.003	0.016	0.334	14
	B w	1.265	1.774		
	R w	1.035	1.958		
	G w	-2.499	4.063		
	定数項	66.719	51.163		
R r	水深	0.006	0.029	0.206	14
	B w	1.700	3.230		
	R w	1.672	3.566		
	G w	-3.776	7.398		
	定数項	81.505	93.166		
G r	水深	-0.002	0.021	0.317	14
	B w	1.613	2.263		
	R w	1.110	2.498		
	G w	-3.164	5.183		
	定数項	97.825	65.266		

(表V-2-8)

Case I-2-b 海津町（アオコ発生地点を除外した場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B r	水深	0.007	0.015	0.618	11
	B w	2.468	2.027		
	R w	3.456	2.500		
	G w	-6.105	4.871		
	定数項	61.727	52.181		
R r	水深	0.023	0.029	0.518	11
	B w	3.950	3.944		
	R w	6.138	4.864		
	G w	-10.525	9.479		
	定数項	78.734	101.542		
G r	水深	0.011	0.019	0.427	11
	B w	2.503	2.690		
	R w	3.393	3.317		
	G w	-6.201	6.464		
	定数項	79.429	69.246		

(表V-2-9)

Case I-3-a 海津町と善太川（アオコ発生地点を含む場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B r	水深	-0.007	0.011	0.868	28
	B w	-0.656	0.444		
	R w	-0.982	0.48		
	G w	2.107	0.875		
	定数項	0.840	6.296		
R r	水深	0.004	0.017	0.855	28
	B w	-0.821	0.674		
	R w	-0.741	0.729		
	G w	2.134	1.329		
	定数項	-16.946	9.562		
G r	水深	0.001	0.014	0.888	28
	B w	-0.961	0.546		
	R w	-1.067	0.589		
	G w	2.606	1.075		
	定数項	-7.387	7.735		

(表V-2-10)

Case I-3-b 海津町と善太川（アオコ発生地点を除外した場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
B r	水深	-0.008	0.011	0.882	25
	B w	-0.613	0.443		
	R w	-0.902	0.489		
	G w	1.981	0.879		
	定数項	1.477	6.383		
R r	水深	0.001	0.017	0.873	25
	B w	-0.745	0.660		
	R w	-0.547	0.729		
	G w	1.850	1.310		
	定数項	-15.146	9.514		
G r	水深	-0.001	0.013	0.908	25
	B w	-0.907	0.519		
	R w	-0.927	-0.574		
	G w	2.404	1.031		
	定数項	-6.260	7.487		

第VI章 リモートセンシング情報による水質汚濁状況の推定法

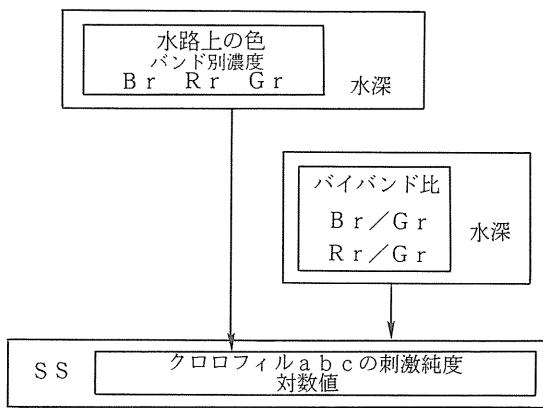
VI-1 リモートセンシングデータと水質汚濁状況の関係

ここではリモートセンシングデータが水質汚濁の程度を、どの程度説明しているかを重回帰分析により検討する。

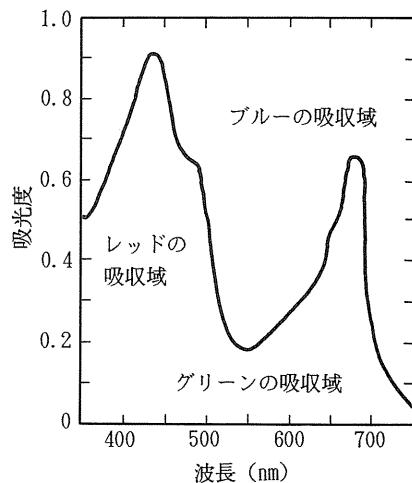
その際の解析手順を（図VI-1-1）に示す。

そのために独立変数として、水路上のバンド別農度値（B r, R r, G r）またはそのバイバンド比（B r/G r, R r/G r）及び水深を選び、推定すべき水質指標としては、水の色に直接に関わると考えられるクロロフィル-abcの対数値と刺激純度及びSS（バイバンド比のみ）を選ぶこととした。

なおバイバンド比を用いれば、現像時間などに起因する写真ごとの明度の差を打ち消す効果があると考えられる。また2つのバンドの比については、これらがクロロフィル量の相対的な変化を、最も強く表現できるように、クロロフィルの吸光度の最も少ないグリーンが分母に、最も多いレッドやブルーが分子になるように選んだ（図VI-1-2）。



図VI-1-1 解析手順



図VI-1-2 植物プランクトンの分光吸収特性

実際の分析は、以下の各ケースに分けて行った。

<Case II バンド別濃度値による解析>

Case II-1-a : 善太川だけのデータ

Case II-2-a : 海津町だけのデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合)

Case II-2-b : 海津町だけのデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合)

Case II-3-a : 善太川と海津町を併せたデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合)

Case II-3-b : 善太川と海津町を併せたデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合)

備考 : 善太川のデータは、水深50cm以下の地点を除外

海津町のデータは、水深100 cm以下の地点を除外

<Case III バイバンド比による解析>

Case III-1-a : 善太川だけのデータ (水深50cm以下を含む)

Case III-1-b : 善太川だけのデータ (水深50cm以下を除外)

Case III-2-a : 海津町だけのデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合)

Case III-2-b : 海津町だけのデータ

(アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合)

Case III-3-a : 善太川と海津町を併せたデータ

(善太川水深50cm以下を含む・

アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合)

Case III-3-b : 善太川と海津町を併せたデータ

(善太川水深50cm以下を除外・

アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを含む場合)

Case III-3-c : 善太川と海津町を併せたデータ

(善太川水深50cm以下を除外・

アオコの流入、流亡等が考えられる地点のデータを除外した場合

備考 : Case III-3-a の海津町のデータは、水深 100cm 以下の地点を含む

他の海津町のデータは、水深 100cm 以下の地点を除外

Case II バンド別濃度値による分析

この結果を(表VI-1-1~5)に示す。

まずクロロフィルの推測を行った5つのケースをみてみると、重相関係数 r は1-a で0.89以上、2-a では $r = 0.67$ であるのが2-b では $r = 0.83$ 以上、3-a 及び3-b では $r = 0.83 \sim 0.87$ となり、アオコの影響があると思われる海津町の分析以外は、高い推測値を示した。すなわちバンド別濃度からクロロフィル量を推定することは可能であると判断される。次に刺激純度については、1-a で $r = 0.89$ 以上、2-a で $r = 0.70$ 前後であるものが2-b では $r = 0.77$ 以上、しかし3-a 及び3-b では $r = 0.60$ 以下となった。すなわち善太川と海津町を個別にみるとその推測性は十分見受けられるが、これはIII-2-b節で述べたように、海津町での溶解性物質の存在形態が、善太川と比べて特殊であったため、

(表VI-1-1)

Case II-1-a 善太川 (水深50cm以下除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	B r	-0.0764	0.0451	0.8928	15
	R r	0.0414	0.0354		
	G r	-0.0024	0.0501		
	定 数 項	3.5640	0.5080		
刺激純度	B r	-0.1980	0.3123	0.8936	15
	R r	-0.1253	0.2451		
	G r	0.4685	0.3472		
	定 数 項	3.9696	3.5179		
log(chl)	水深	0.0012	0.0008	0.9145	15
	B r	-0.0778	0.0425		
	R r	0.0492	0.0337		
	G r	-0.0058	0.0473		
	定 数 項	3.3580	0.4968		
刺激純度	水深	-0.0072	0.0056	0.9092	15
	B r	-0.1895	0.3039		
	R r	-0.1716	0.2412		
	G r	0.4881	0.3381		
	定 数 項	5.0835	3.5522		

(表VI-1-2)
Case II-2-a 海津町（アオコ発生地点を含む場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	B r	-0.1068	0.0426	0.6739	14
	R r	0.0071	0.0317		
	G r	0.0543	0.0482		
	定 数 項	3.1213	0.9841		
刺激純度	B r	-0.2448	0.2859	0.6983	14
	R r	0.6512	0.2129		
	G r	-0.6615	0.3236		
	定 数 項	21.0418	6.6081		
log(chl)	水深	-0.0002	0.0008	0.6766	14
	B r	-0.1150	0.0557		
	R r	0.0101	0.0355		
	G r	0.0566	0.0515		
	定 数 項	3.2615	1.1801		
刺激純度	水深	-0.0052	0.0047	0.7408	14
	B r	-0.4768	0.3523		
	R r	0.7374	0.2246		
	G r	-0.5973	0.3254		
	定 数 項	25.0146	7.4607		

(表VI-1-3)
Case II-2-b 海津町（アオコ発生地点を除外した場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	B r	-0.1145	0.0354	0.8403	11
	R r	0.0244	0.0308		
	G r	0.0267	0.0539		
	定 数 項	3.9694	1.1317		
刺激純度	B r	-0.1423	0.2922	0.7723	11
	R r	0.7698	0.2546		
	G r	-0.9410	0.4456		
	定 数 項	25.9080	9.3501		
log(chl)	水深	-0.0005	0.0006	0.8577	11
	B r	-0.1371	0.0456		
	R r	0.0322	0.0330		
	G r	0.0336	0.0559		
	定 数 項	4.3428	1.2459		
刺激純度	水深	-0.0037	0.0050	0.7935	11
	B r	-0.3113	0.3803		
	R r	0.8283	0.2754		
	G r	-0.8900	0.4664		
	定 数 項	28.6972	10.3977		

(表VI-1-4)

Case II-3-a 海津町と善太川（アオコ発生地点を含む場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	B r	-0.0573	0.0209	0.8350	29
	R r	0.0093	0.0192		
	G r	0.0116	0.0276		
	定数項	3.1118	0.2898		
刺激純度	B r	0.7537	0.2306	0.5686	29
	R r	0.0015	0.2117		
	G r	-0.5291	0.3046		
	定数項	1.2250	3.1986		
log(ch1)	水深	0.0004	0.0005	0.8394	29
	B r	-0.4980	0.0232		
	R r	0.0072	0.0195		
	G r	0.0087	0.0281		
	定数項	2.9508	0.3580		
刺激純度	水深	-0.0012	0.0055	0.5698	29
	B r	0.7302	0.2587		
	R r	0.0083	0.2181		
	G r	-0.5201	0.3133		
	定数項	1.7293	3.9967		

(表VI-1-5)

Case II-3-b 海津町と善太川（アオコ発生地点を除外した場合）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	B r	-0.0510	0.0203	0.8666	26
	R r	0.0074	0.0187		
	G r	0.0073	0.0268		
	定数項	3.0820	0.2815		
刺激純度	B r	0.7081	0.2298	0.5938	26
	R r	0.0371	0.2110		
	G r	-0.5191	0.3032		
	定数項	1.8047	3.1851		
log(ch1)	水深	0.0003	0.0005	0.8693	26
	B r	-0.0451	0.0226		
	R r	0.0059	0.0191		
	G r	0.0049	0.0274		
	定数項	2.9564	0.3478		
刺激純度	水深	-0.0004	0.0055	0.5939	26
	B r	0.7009	0.2582		
	R r	0.0390	0.2177		
	G r	-0.5161	0.3133		
	定数項	1.9583	3.9716		

両データを併せると重相関係数は低くなったと考えられる。さらに2-a で重相関係数が低い値を示したのに、アオコ確認地点のデータを除外したら相関係数が上がったということは、その分だけアオコが写真上の色に異質な影響を与えていたということを裏付けている結果であろう。なお水深を含めた場合に重相関係数が上昇するという効果は、多少見受けられるようである。

Case III バイバンド比による分析

結果を表（VI-1-6～12）に示す。

(表VI-1-6)

Case III-1-a 善太川（水深50cm以下を含む）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	水 深	0.0021	0.0009	0.7542	26
	B / G	-0.7749	1.0149		
	R / G	-0.8855	0.5490		
	定 数 項	2.8644	1.4060		
	B / G	-1.6324	1.0192	0.6857	26
	R / G	-1.6154	0.4794		
	定 数 項	4.3880	1.3345		
	B / G	1.4149	0.5627	0.4567	26
	定 数 項	0.2613	0.6348		
刺激純度	水 深	-0.0244	0.0068	0.8759	26
	B / G	-0.5419	7.4484		
	R / G	6.7410	4.0294		
	定 数 項	12.6082	10.3185		
	B / G	9.5759	8.5122	0.7934	26
	R / G	15.3545	4.0035		
	定 数 項	-5.3699	11.1456		
	B / G	-19.3881	4.9231	0.6265	26
	定 数 項	33.8538	5.5539		
SS	水 深	-0.2089	0.1911	0.3657	26
	B / G	-196.9810	210.5100		
	R / G	-177.8560	113.8800		
	定 数 項	356.0360	291.6270		
	B / G	-110.2870	195.8330	0.2944	26
	R / G	-104.0500	92.1047		
	定 数 項	201.9890	256.4170		
	B / G	85.9883	90.8752	0.1896	26
	定 数 項	-63.8102	102.5190		

ここでは独立変数を、 i) (水深・B r / G r ・R r / G r)とした場合、 ii) (B r / G r ・R r / G r)とした場合、 iii) (B r / G r)だけの場合、の3つのパターンで分析した。

まずクロロフィルの推測について検討してみる。

善太川において1-a で i) が $r = 0.75$ 、 ii) , iii) では $r = 0.69$ 以下となるのに対し、1-b の i) , ii) では $r = 0.86$ 以上となった。これは川底の色などの影響がクロロフィルの推測に障害を与えてい

(表VI-1-7)

Case III-1-b 善太川 (50cm以下を除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	水 深	0.0010	0.0009	0.8787	15
	B / G	-0.2903	0.8504		
	R / G	-1.1682	0.4526		
	定 数 項	2.6057	1.1561		
	B / G	-0.4823	0.8392	0.8644	15
	R / G	-1.3830	0.4115		
	定 数 項	3.0699	1.0849		
	B / G	1.9890	0.5417		
刺激純度	定 数 項	-0.2156	0.6302	0.7135	15
	水 深	-0.0089	0.0058	0.8951	15
	B / G	-6.4328	5.5196		
	R / G	4.2318	2.9376		
	定 数 項	16.4116	7.5036		
	B / G	-4.6896	5.6976	0.8710	15
	R / G	6.1818	2.7935		
	定 数 項	12.1975	7.3655		
S S	B / G	-15.7358	3.1320	0.8124	15
	定 数 項	26.8826	3.6436		
	水 深	-0.3278	0.3097		
	B / G	-104.3520	295.6550		
	R / G	-165.0370	295.6550	0.3055	15
	定 数 項	271.7320	401.9230		
	B / G	-39.9115	290.7680		
	定 数 項	115.9530	375.8830		
	B / G	126.1880	137.0620	0.2474	15
	定 数 項	-104.8650	159.4500		

るものと考えられる。また海津町においては、全般的に推測値は低くなり、2-b の i) でも $r = 0.71$ 程度であった。これはV-3節でも述べたように、水路上の色が藻類以外の懸濁物質の影響を受けたものと思われる。さらに両流域を併せた分析では、3-a で若干低い値を示すが、3-b, 3-c とも i), ii) で $r = 0.80$ 以上と高い値を得た。すなわちバイバンド比によるクロロフィルの推測は、独立変数 (B_r / G_r) でこそ低い推測値を示すが、独立変数（水深, B_r / G_r , R_r / G_r ）及び (B_r

(表VI-1-8)
Case III-2-a 海津町 (1 m以下を除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	水 深	0.0004	0.0007	0.5616	14
	B / G	-2.5044	2.0834		
	R / G	-1.4682	0.9416		
	定 数 項	4.9354	2.0412		
	B / G	-3.0375	1.8021	0.5416	14
	R / G	-1.4007	0.9049		
	定 数 項	5.4196	1.7969		
	B / G	-2.6246	1.8831		
刺激純度	定 数 項	3.9488	1.6115	0.3733	14
	水 深	-0.0006	0.0054	0.4310	14
	B / G	0.6055	15.7472		
	R / G	10.7023	7.1169		
	定 数 項	-3.5755	15.4288		
	B / G	1.4244	13.4152	0.4298	14
	R / G	10.5987	6.7361		
	定 数 項	-4.3193	13.3769		
SS	B / G	-1.6997	14.0596	0.0349	14
	定 数 項	6.8095	12.0319		
	水 深	0.0132	0.0117		
	B / G	-64.2663	33.8474		
	R / G	-9.4651	15.2972	0.6789	14
	定 数 項	70.6671	33.1630		
	B / G	-81.4745	30.5976		
	R / G	-7.2883	15.3637		
定 数 項	86.2973	30.5100	0.6262	14	
	B / G	-79.3261	29.2672		
	定 数 項	78.6445	25.0462		
				0.6162	14

Gr , Rr/Gr) で充分に表現できるといえる。

次に刺激純度の推測について検討してみる。

善太川においては1-a のⅢ) 以外で、非常に高い相関を示している。しかし他の場合すべてにおいて、推測するには不十分な数値を示した。しかしながら本研究のバイバンド比による推測が、クロロフィル濃度による影響を強く反映するものであるということを考慮すると、一般的に刺激純度の推定

(表VI-1-9)

Case III-2-b 海津町 (1 m以下を除外 : アオコ発生地点を除外)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	水 深	0.00003	0.0007	0.7061	11
	B / G	-4.4529	2.5817		
	R / G	-1.4065	0.9338		
	定 数 項	6.5305	2.2992		
	B / G	-4.5094	1.9777	0.7061	11
	R / G	-1.3993	0.8555		
	定 数 項	6.5782	1.8044		
	B / G	-4.5431	2.1538	0.5752	11
	定 数 項	5.4879	1.8261		
刺激純度	水 深	-0.0012	0.0061	0.5668	11
	B / G	-5.9685	21.1826		
	R / G	13.8020	7.6614		
	定 数 項	-0.0571	18.8644		
	B / G	-3.6302	16.2675	0.5636	11
	R / G	13.5040	7.0370		
	定 数 項	-2.0317	14.8420		
	B / G	-3.3050	18.5330	0.0593	11
	定 数 項	8.4895	15.7138		
S S	水 深	0.0109	0.0117	0.7518	11
	B / G	-69.7127	40.6583		
	R / G	-14.1019	14.7054		
	定 数 項	78.2077	36.2087		
	B / G	-91.5312	33.0287	0.7147	11
	R / G	-11.3220	14.2876		
	定 数 項	96.6323	30.1343		
	B / G	-91.8038	32.3370	0.6873	11
	定 数 項	87.8111	27.4180		

精度が低いのは当然とも考えられる。むしろ善太川刺激純度の推定が良好な結果を得たのは、クロロフィル量と溶解性物質量がたまたま非常に高い相関性を持っていたためであるとも考えられる。

さらにSSについてみると、ほとんどが低い相関係数を示しているのに、海津町の2-bのi)では $r = 0.75$ 以上となった。これは善太川の非灌漑期において護岸工事等による土砂等の流入により、SSに異常に大きな値が現れたためであると思われる。

(表VI-1-10)

Case III-3-a 善太川と海津町 (すべてのデータを含む)

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	水深	0.0010	0.0005	0.7115	41
	B/G	-1.0665	0.7186		
	R/G	-1.2820	0.4022		
	定数項	3.4672	0.9909		
	B/G	-1.7655	0.6524	0.6728	41
	R/G	-1.6871	0.3611		
	定数項	4.5599	0.8591		
	B/G	0.9362	0.3742		
刺激純度	定数項	0.8229	0.3886	0.3718	41
	水深	-0.0174	0.0060	0.6921	41
	B/G	23.4099	8.5995		
	R/G	13.8533	4.8131		
	定数項	-19.5688	11.8584		
	B/G	35.5489	8.2184	0.6002	41
	R/G	20.8873	4.5484		
	定数項	-38.5429	10.8224		
SS	B/G	2.0998	4.6849	0.0716	41
	定数項	7.7241	4.8642		
	水深	-0.0618	0.0872		
	B/G	-94.0777	125.2950		
	R/G	-107.1960	70.1269	0.3412	41
	定数項	191.3290	172.7780		
	B/G	-50.9283	108.7850		
	定数項	123.8840	143.2540		
	B/G	80.6964	50.9358	0.3231	41
	定数項	-58.1797	52.8847		

以上よりリモートセンシングによる水質汚濁状況の推測は、川底の色の影響を受ける地点を除くことによって、特にクロロフィルに対して有効であることが明らかとなった。さらにバイバンド比を用いることによって、最低でも2つの説明変数（独立変数）だけで推測が可能であることが判明した。なお刺激純度の推測は、単一の流域内に限ればバンド別濃度による分析を行うことによって可能となるものと考えられる。

(表VI-1-11)

Case III-3-b 善太川と海津町（善太川50cm以下、海津町1m以下を除外）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(chl)	水深	0.0008	0.0005	0.8223	29
	B/G	-0.8542	0.6650		
	R/G	-1.3914	0.3696		
	定数項	3.3776	0.8913		
	B/G	-1.1519	0.6600	0.8009	29
	R/G	-1.5715	0.3641		
	定数項	3.9217	0.8533		
	B/G	1.4416	0.3509		
	定数項	0.4430	0.3602	0.6202	29
	水深	-0.0057	0.0055	0.4062	29
刺激純度	B/G	11.3454	7.8857		
	R/G	6.8810	4.3833		
	定数項	-7.0036	10.5690		
	B/G	13.5767	7.5956	0.3595	29
	R/G	8.2307	4.1905		
	定数項	-11.0816	9.8204		
	B/G	-0.0065	3.3033	0.0003	29
	定数項	7.1376	3.3907		
SS	水深	-0.0592	0.1097	0.3765	29
	B/G	-52.1915	156.6010		
	R/G	-95.5825	87.0468		
	定数項	142.5620	209.8880		
	B/G	-29.0982	148.5660	0.3630	29
	R/G	-81.6135	81.9637		
	定数項	100.3560	192.0810		
	B/G	105.5900	61.4316	0.3141	29
	定数項	-80.3022	63.0556		

(表VI-1-12)

Case III-3-c 善太川と海津町（善太川50cm以下、海津町1m以下、アオコ発生地点を除外）

従属変数	独立変数	重回帰係数	標準回帰係数	重相関係数	データ数
log(ch1)	水深	0.0007	0.0005	0.8505	26
	B/G	-0.8360	0.6568		
	R/G	-1.4539	0.3671		
	定数項	3.3784	0.8810		
刺激純度	B/G	-1.1007	0.6457	0.8349	26
	R/G	-1.6197	0.3569		
	定数項	3.8616	0.8345		
	B/G	1.5537	0.3684		
SS	定数項	0.3021	0.3837	0.6525	26
	水深	-0.0045	0.0056	0.4426	26
	B/G	11.4957	7.8567		
	R/G	7.7890	4.3907		
SS	定数項	-7.5063	10.5387		
	B/G	13.2556	7.4877	0.4150	26
	R/G	8.8912	4.1393		
	定数項	-10.7187	9.6775		
SS	B/G	-1.3157	3.4000	0.0774	26
	定数項	8.8212	3.5415		
	水深	-0.0644	0.1184		
	B/G	-52.0022	167.3810	0.3766	26
SS	R/G	-97.7014	93.5408	0.3610	26
	定数項	143.7900	224.5190		
	B/G	-26.6730	158.2770		
	R/G	-81.8396	87.4970		
SS	定数項	97.5566	204.5640	0.3118	26
	B/G	107.4500	66.8277		
	定数項	-82.3006	69.6082		

VI-2 他の水域の水質汚濁状況の推定

ここでは、リモートセンシング法による、他の水域の水質汚濁状況の推定の可能性について検討する。

そこでまず、善太川のデータから重回帰分析によって得られた推定式を用いて、海津町のクロロフィル量が推測できるかどうかを検討した結果について述べる。

なお分析に用いた推定式は、善太川の水深50cm以下の地点を除外したデータによるバイバンド比を

独立変数としたクロロフィルの推定式 (Case III-1-b の i) と ii)) を使用した。その式に海津町のリモートセンシングデータ (B_r/G_r , R_r/G_r) と水深を代入して、クロロフィル量の値を計算し、それを、海津町のクロロフィル量の実測値と比較してみた。

その結果、(図 VI-2-1) ~ (図 VI-2-2) で示すように実測値と推測値は 1 : 1 の線より離れた物が多く身受けられた。これは海津町の水域が善太川とは異なり、いくつもの流域が交わって一つの水域を構成しており、そのために海津町の汚濁の形態が複雑になり、推測の精度が下がったという要因も考えられようが、特に、アオコの存在が確認された地点の推測値が、実測値から大きく外れていることから、海津町内の水系で異常に発生していたアオコの存在が、クロロフィル量を推測する上で障害となったものと考えられる。

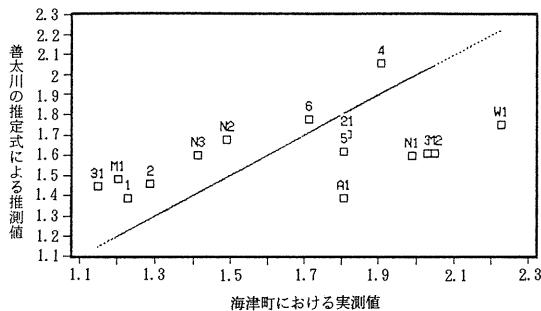


図 VI-2-1 海津町の $\log(\text{chl})$ の推測独立変数
(水深, B_r/Gr , R_r/Gr)

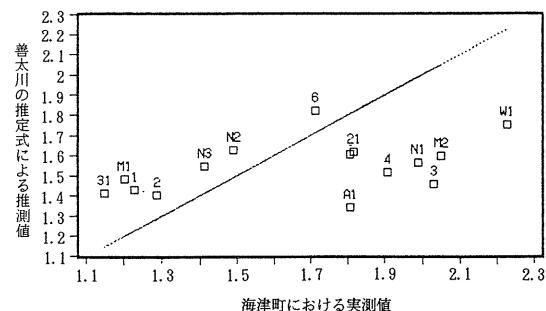


図 VI-2-2 海津町の $\log(\text{chl})$ の推測独立変数
(B_r/Gr , R_r/Gr)

そこで流域ごとの特性による差を少なくし、アオコの発生にも対応できる、より汎用性のある推定を行うという観点にたって、善太川と海津町を併せたデータより得られた推定式をもじいて別の水系におけるクロロフィル量を推測してみることにした。

さらに推測されたクロロフィル量から、藍藻類・珪藻類・緑藻類をも算出する方法を提案する。なお、これらの各存在量を視覚的に表現するために、画像処理法を用いれば、それぞれの濃度分布図を作成できる。

以下に推測手順を示す。

まず推定式は、善太川と海津町の両データを用いたもの <Case III-3-b の ii) > である。さらに推測する従属変数には、クロロフィル-abcと共に、クロロフィルの存在量を形態別に把握するためにクロロフィル-a, クロロフィル-b, クロロフィル-cを選んだ。またそれぞれの推定式に用いた独立変数は、以下のとおりである。

従属変数 ($\mu \text{ g}/\text{l}$)

独立変数

クロロフィル-abc

B_r/Gr , R_r/Gr

クロロフィル-a

R_r/B_r , R_r/Gr

クロロフィル-b

R_r/B_r , R_r/Gr

クロロフィル-c

B_r/Gr , R_r/Gr

なお独立変数は、予測を正確かつ容易に推測を行うために B_r/G_r , R_r/G_r , R_r/B_r の 3 つのバイバンド比の内から、後退法によって、推定式への関与の高い 2 つにしぼった。

次に全クロロフィル及びクロロフィル a・b・c の濃度推定式を示す。

<各クロロフィルの推定式>

クロロフィル-abc の推定式

$$\log(ch1-abc) = -1.1007(Br/Gr) - 1.6197(Rr/Gr) + 3.8616$$

重相関係数 $r = 0.8349$

クロロフィル-a の推定式

$$\log(ch1-a) = 2.7228(Rr/Br) - 4.2346(Rr/Gr) + 2.2517$$

重相関係数 $r = 0.8225$

クロロフィル-b の推定式

$$\log(ch1-b) = 0.6044(Rr/Br) - 1.6321(Rr/Gr) + 1.4477$$

重相関係数 $r = 0.7920$

クロロフィル-c の推定式

$$\log(ch1-c) = -0.4905(Br/Gr) - 1.3795(Rr/Gr) + 2.5299$$

重相関係数 $r = 0.8352$

ところでクロロフィル-a・b・c それぞれの存在量を用いれば、藍藻類、珪藻類、緑藻類の濃度を把握できる。その計算方法を以下に示す。

クロロフィル-a・b・c の濃度をそれぞれ a , b , c ($\mu g/1$)、全クロロフィルの内でそれぞれ藍藻類・珪藻類・緑藻類に由来するものの濃度を D ・ E ・ F ($\mu g/1$) とする。今、各藻類のクロロフィルの存在比を、単純に次のように仮定する

$$a : b : c$$

$$D \text{ 藍藻類} \quad 1 : 0 : 0$$

$$E \text{ 珪藻類} \quad 1 : 0 : 2$$

$$F \text{ 緑藻類} \quad 3 : 1 : 0$$

すると $a = D + E / 3 + 3 F / 4$

$$b = F / 4$$

$$c = 2 E / 3$$

が成立つから、 D , E , F は次のようになる。

$$D = a - c / 2 - 3 b$$

$$F = 4 b$$

$$E = 3 c / 2$$

このようにリモートセンシング法を用いることによって、クロロフィル濃度等の汚濁状況だけではなく、アオコを主体とする藍藻類の分布状況を簡単に把握できるといえる。

第VII章 総合考察

本研究の対象とした、一般的な農業用用排水路における水質汚濁負荷は著しく、富栄養化の傾向を示しているといえる。またその汚濁形態は、 $1 \mu\text{m}$ 以上の懸濁物質と $1 \mu\text{m}$ 以下の溶解性物質とに分けられ、両者の存在量は、逆の傾向を持っていると判断された。すなわち汚濁の進行した流域においては、懸濁物質の主な構成物である藻類の活動が、溶解性の栄養物質を吸収し増殖する、といった汚濁の質的傾向を持っていることが推測される。また藻類の存在量の相対的な指標は、クロロフィルであることから、クロロフィルがその水質を反映していると考えられ、さらにこのことが、「水の色」に影響をおよぼしていると推測される。よって懸濁物質の相対的な色の指標を、クロロフィル-abcとし、溶解性の栄養物質量を反映している水の色の指標を、刺激純度とすることができた。

そこで両指標とリモートセンシング情報との関係をみたところ、両指標とも白色板上の水の色をかなりの程度反映しており、さらには水路上の水の色にも大きな影響を与えていていることが判明した。すなわち白色板上の水の色や水路上の水の色は、その水本来の水質を反映しているものと考えられる。このことから逆に、リモートセンシングによって得られる水の色から水質を把握する可能性が生じることになる。そこでリモートセンシングで得られた水路上の水の色から、重回帰分析によりクロロフィルと刺激純度を推測してみたところ、特にクロロフィルについては、非常に高い予測可能性を示した。一方刺激純度については、流域ごとに汚濁の形態が異なるために、総合的な推定は難しいと思われるが、単一の流域ごとであれば推定の可能性は充分にあるといえる。さらにクロロフィルと刺激純度をリモートセンシングから推測すれば、その両者と関係の深い他の水質項目の予測を含めて、その調査水系の水質汚濁状況を充分に把握することができると考えられる。さらに本研究で得られた結果を基にして、藻類の濃度の推定式を求めることができた。したがって、このようなリモートセンシングで得られた推定式を用いて、他の水系の汚濁状況をつかむことが可能であると考えられる。

以上のように、航空カラー写真を用いたリモートセンシング法による水質汚濁状況の推定という水質調査法は、大変有効な手法であると判断できる。

あとがき

最近の水質汚濁の特徴は、かつてのような大発生源による特定水域の汚濁より、低濃度大規模発生源、無数の小規模発生源、農地などの非特定発生源による広域的・重層的汚濁が問題になってきている。それだけに本研究のリモートセンシングによる水質汚濁状況の実態調査法が確立されれば、従来の調査方法と比べて、大幅な時間及び労力の削減が期待されるだけでなく、地点ごとの汚濁状況の把握から水系全体での把握へと、調査対象を広げることが可能となる。しかしながら本研究を進めて行くに当たり、以下に挙げる諸問題について検討する必要がある。

- 1) 写真撮影にはグレースケールを使用し、天候の違い、現像処理の差等の諸条件を同一にする必要がある。
- 2) 白色板を設置する深さについては、透視度から検討する必要がある。

- 3) 調査流域が多岐にわたる場合には、それぞれの流域の汚濁傾向が画一的ではないため、その流域の水質特性を充分に把握した上で解析を行うべきである。
 - 4) 流域本来の水質を把握する上で、アオコや土砂等が水質や写真画像にどのような影響を及ぼしているか検討する必要がある。
 - 5) 今後、より確実な解析効果を得るために、カラーフィルムでは捕らえきれない画像情報を、赤外線フィルム等を用いて把握し検討すべきである。
 - 6) 懸濁物質の色は、濾過操作直後と乾燥してSS測定を行った後で、かなり異なる。したがってその実験法や利用の方法にも検討を加える必要がある。
- 以上の問題点について、今後の研究に際し留意する必要があろう。