

茨戸川における分光特性を用いた水質計測

Measurement of Water Quality Based on Spectral Characteristics in the Barato River

(株)シン技術コンサル

独立行政法人 北海道開発土木研究所

独立行政法人 北海道開発土木研究所

○ 正 員 加藤 晃司(Koji Kato)

正 員 中津川 誠(Makoto Nakatsugawa)

正 員 太田 陽子(Yoko Ota)

1. はじめに

石狩川のショートカットによって形成された旧川中の最大のものが茨戸川(面積 4.37km^2 、延長約 20km)である。茨戸川は遊水地として、また、利水や環境面といった多方面での機能が期待される一方、流れが停滞することや、周辺からの汚濁負荷の流入でアオコ発生といった富栄養化現象が発現してきた。1980年代以降には、下水道整備や底泥浚渫などの対策が実を結び、大規模なアオコの発生は見られなくなったものの、依然として富栄養化傾向にある水質をはじめ、水環境の改善が望まれている。

その水環境の改善のためには、茨戸全体での水質の構造や形成要因を把握する必要がある。しかし、現在行われている調査では採水地点が限られているため、傾向としての指標にはなるものの、茨戸川全体での水質の状況把握は困難といえる。

すなわち、富栄養化状況の全貌把握を目指すには、広域的な調査が必要といえる。そのために、近年進歩の著しいリモートセンシング技術の活用を図る。その基本原理は、水面の反射光の分光特性との関連づけによって、クロロフィル a や濁度といった水質を推定するものである。

佐渡ら¹⁾は、網走湖(面積 32.3km^2)を対象とした分光特性からクロロフィル a の推定を行っている。ここではクロロフィル a の吸収帯である $660\sim 680\text{nm}$ と蛍光放射帯である $690\sim 700\text{nm}$ の波長帯を NOAA 衛星(分解能: 1km)の計測バンド値と関連づけ、クロロフィル a の推定を行っている。本報告は、茨戸川を対象とし、水面反射光の分光特性と水質の関係を詳細に調べるとともに、Landsat(分解能: 30m)、SPOT(分解能: 20m)を利用して、より細密な領域の水質を推定

した結果を報告するものである。

2. 調査項目

以下に調査項目と方法を整理する。

① 定点観測(採水)

- ・調査地点: 真鮎別、樽川合流前、生振 8 線、上部湖盆、石狩放水路ゲート 計 5 地点
- ・調査期間: 平成 13 月 6 月下旬～10 月中旬
- ・採水深度: 水面下 -0.3m
- ・採水量: 6 リットル
- ・分析: BOD、COD、濁度、クロロフィル a、植物プランクトン等

② 曳航観測(調査船)

- ・調査地点: 上部湖盆～真鮎別
- ・調査期間: H13.4.26、H13.8.21、H13.9.26、H13.10.15 計 4 回
- ・調査項目: 塩分、電気伝導度、水温、濁度、クロロフィル a
- ・調査機器: 曳航式クロロフィル計「ACL2180-TPM 型」(アレック電子(株)製)
- ・調査深度: 水面下 -0.5m

③ 分光放射観測

- ・調査地点: 真鮎別、樽川合流前、生振 8 線、上部湖盆、石狩放水路ゲート 計 5 地点
- ・調査期間: 8 月～9 月(計 5 回)
- ・調査項目: 放射輝度
- ・調査機器: 分光放射計「FieldSpec Pro FR」(ASD 社製)
- ・測定波長範囲: $350\sim 2500\text{nm}$

④ リモートセンシング観測

- ・観測衛星: SPOT
- ・観測日: H13.8.20、H13.9.5
- ・調査項目: クロロフィル a、濁度
- ・地上分解能: 20m
- ・波長: $0.50\sim 0.59\mu\text{m}$ 、 $0.61\sim 0.68\mu\text{m}$ 、 $0.79\sim 0.89\mu\text{m}$
- ・観測衛星: Landsat-7 (ETM+)
- ・観測日: H13.9.24
- ・調査項目: 水面温度、クロロフィル a、濁度
- ・地上分解能: 30m
- ・波長: $0.45\sim 0.52\mu\text{m}$ 、 $0.53\sim 0.61\mu\text{m}$ 、 $0.63\sim 0.69\mu\text{m}$ 、 $0.75\sim 0.90\mu\text{m}$ 、 $1.55\sim 1.75\mu\text{m}$ 、 $10.4\sim 12.5\mu\text{m}$ 、 $2.09\sim 2.35\mu\text{m}$

3. 現地調査結果

調査項目の①定点観測(採水)、②曳航観測の調査結果を以下に整理する。

① 定点観測(採水)



図-1 茨戸川の位置と観測地点

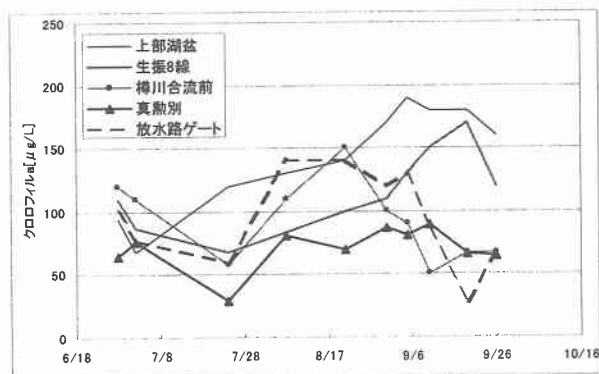


図-2 クロロフィル a の変化 (5 地点)

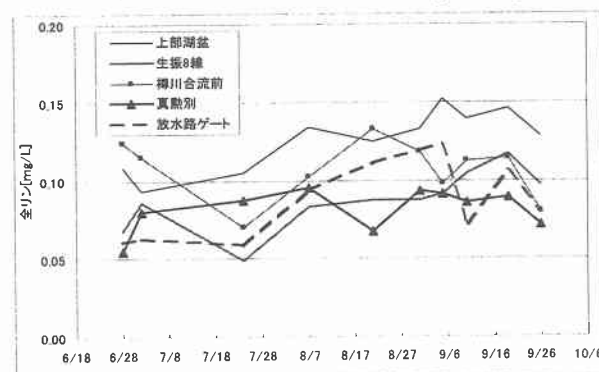


図-3 全リンの変化 (5 地点)

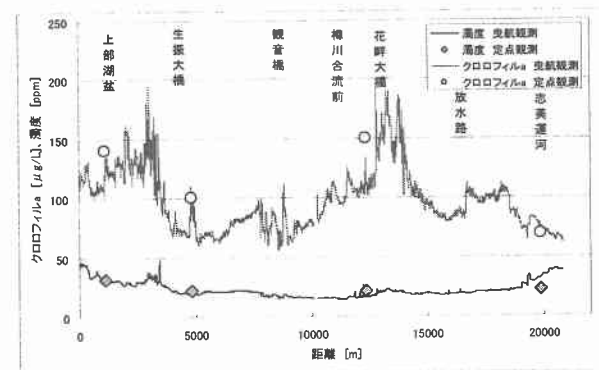


図-4 クロロテックによる曳航観測と定点観測の比較 (2001.9.26)

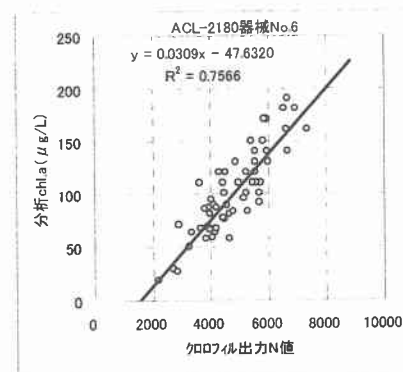


図-5 クロロテックの検量線

なく、9月になってからピークが発生していることがわかる。このとき、全リンの変化は、図-3に示すようにクロロフィル a と同様に上部湖盆と生振 8 線 (中部湖盆) の 2 箇所が 9 月になるまで増加傾向にあった。

② 曳航観測

図-4 は、9 月 26 日の曳航観測で得られたクロロフィ

採水による 5 地点の調査結果を図-2 および図-3 に示す。図-2 より、クロロフィル a の濃度値は上部湖盆と生振 8 線 (中部湖盆) の 2 箇所が他の 3 箇所 (下部湖盆) と異なり、8 月中頃にピークを迎えるのではなく、9 月になってからピークが発生していることがわかる。

このとき、全リンの変化は、図-3に示すようにクロロフィル a と同様に上部湖盆と生振 8 線 (中部湖盆) の 2 箇所が 9 月になるまで増加傾向にあった。

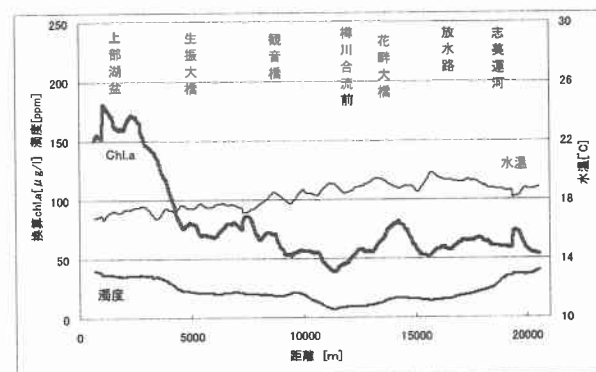


図-6 クロロテックによる曳航観測の結果 (2001.9.26)

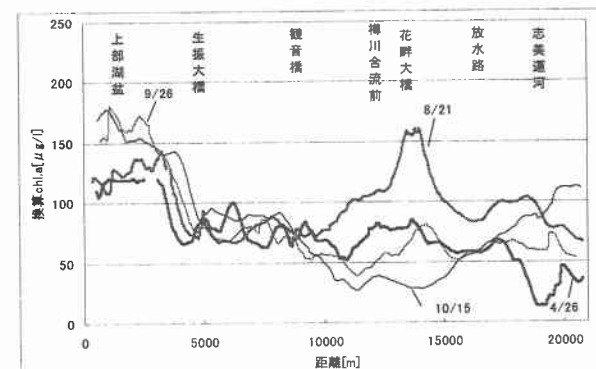


図-7 曳航観測から得られたクロロフィル a の変化

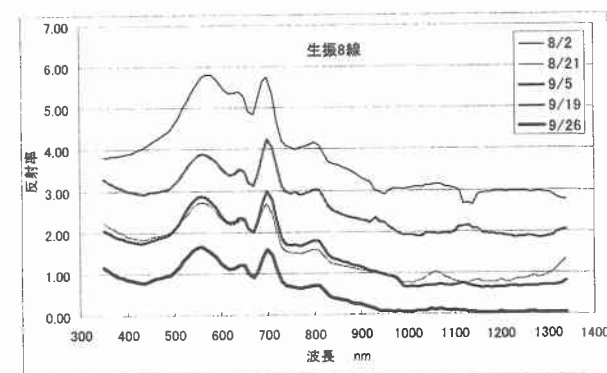


図-8 反射率の時系列変化 (生振 8 線)

ル a と濁度の分布状況を定点観測値とともに示す。なお、クロロテックのセンサー値と Chl-a 濃度分析値の関係は図-5 のように高い相関が得られた。結局、次式から曳航観測値を実際の Chl-a 濃度に換算している。

$Chl-a = 0.0309 \cdot N + 47.632 \dots \dots \dots (1)$
ここで N は、クロロテックによるクロロフィル観測値を示す。

9 月 26 日の茨戸川全体における曳航観測結果を図-6 に、またクロロフィル a 分布状況の時系列変化を図-7 に示す。図-6 より上部湖盆、および観音橋までの中部湖盆のクロロフィル a が他の地点に比べ高いことがわかる。これは観音橋より上流の水域が閉鎖性の高い水域になっているためと考えられる。さらに図-7 のクロロフィル a の時間的な変化を見ると、定点観測で見られたように、上部湖盆と生振 8 線 (中部湖盆) の値が 8 月ではなく、9 月にピークを迎えているのがわかる。また、上部湖盆、中部湖盆のクロロフィル a 値は、常に高い値を示す。一方で、下部湖盆は変動が激しい。このことは観音橋上下流の閉鎖性の違いに起因するものと考えられる。とくに

表-1 波長毎の反射率と実測値の相関

	相関	波長 nm
クロロフィル a	0.80	700-640
濁度	0.79	770-420

表-2 LANDSAT の波長毎の反射率と実測値の相関

	クロロフィル a	濁度
	Band4-Band1	Band4-Band5
相関	0.70	0.75

(Band1:420-520nm, Band4:750-900nm, Band5:1550-1750nm)

表-3 SPOT の波長毎の反射率と実測値の相関

	クロロフィル a	濁度
	Band3-Band1	Band2-Band3
相関	0.55	0.36

(Band1:500-590nm, Band2:610-680nm, Band5:790-890nm)

2001 年は、9 月中旬に大きな出水があり、8 月下旬に増加したクロロフィル a が流動希釈により、出水後の 9 月下旬には低下していることも推察できる。

4. 分光放射特性の把握

8 月～9 月に定点観測と同期して水面で反射される放射スペクトルの観測を行った。同時に白色標準反射板(反射率=1)を用い、水面に入射する放射スペクトルを測定し、前者を後者で除すことにより反射率を求めた。これに基づき水質観測値と波長毎の反射率の対応関係を検討した。図-8 は生振 8 線での波長毎の反射率の変化を表わす。図より波長により反射率が変化し、とくに 560nm 付近にピークがあり、700nm の付近にも極大が見られることがわかる。これらの波長による吸収度合いとクロロフィル a や濁度などの関連性を検討した。その結果、表-1 に示すような波長帯で高い相関性が確認された。

また、分光放射計より得られた反射率を人工衛星のバンドの波長帯幅に一致するように平均したとき、どのような対応関係にあるのかを考察した。考察に用いたのは、SPOT (3 バンド) と Landsat (6 バンド) である。人工衛星のバンドに対応する波長帯で平均した反射率をクロロフィル a や濁度に関連づけた結果を表-2 および表-3 に示し、相関式を次に示す。

Landsat

$$Chl.a = ((Band4 - Band1) + 43.478) / 0.0566 \dots \dots (2)$$

$$濁度 = ((Band4 - Band5) - 4.9816) / 0.1683 \dots \dots (3)$$

SPOT

$$Chl.a = ((Band3 - Band1) + 39.337) / 0.0217 \dots \dots (4)$$

$$濁度 = ((Band2 - Band3) - 11.652) / 0.161 \dots \dots (5)$$

表-2 は Landsat、表-3 は SPOT に対応するバンドで最も高い相関を示したものである。Landsat はクロロフィル a、濁度ともに相関が高いが、SPOT は相関性が低い。また、クロロフィル a と最も相関の高い波長帯を調べてみると Landsat が Band4-Band1 ((750～900nm) - (420～520nm)) であるのに対し、分光放射計(表-1 参照)では 700nm-640nm と、選択された波長帯が異なっている。これは、分光放射計の反射率で特徴的である 700nm の極大の部分と 640nm の吸収の部分とが Landsat のバンドの波長帯幅に平均化されたためだと考える。

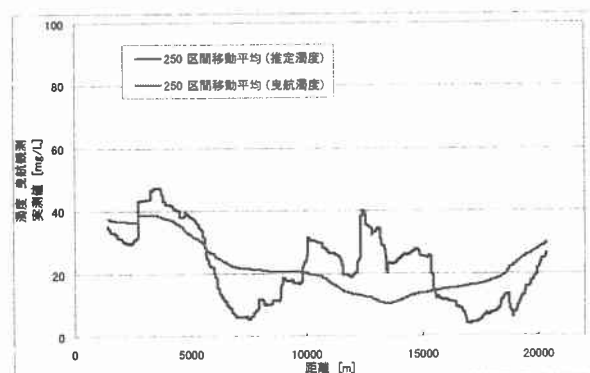


図-9 クロロフィルの Landsat による推定値と曳航観測の移動平均(約 3,000m)

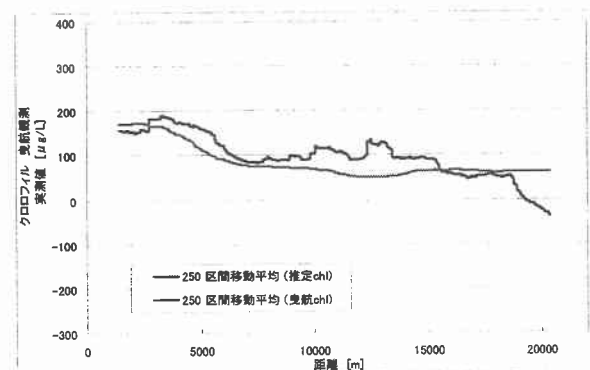


図-10 濁度の Landsat による推定値と曳航観測の移動平均(約 3,000m)

5. リモートセンシングを用いた水質観測

前節から得られた結果に基づき人工衛星データからクロロフィル a と濁度の推定を行い、その空間分布を把握する。まず、Landsat と SPOT のバンド毎の放射輝度差と曳航観測で得られた実測値の対応関係の検討を行ったが、相関性の高いものは得られなかった。これには、いろいろな要因が考えられるが、1 つには人工衛星の地上分解能が対象となるグランドトゥルースの分解能に対して粗いことで対応が困難になることが考えられる。

そこで本研究では、先に述べた分光放射計の観測に基づき、最も実測値と相関のよいバンド(Landsat: クロロフィル a=Band4-Band1、表-1 参照)の放射輝度から水質に換算することにした。次に人工衛星を用いたときの推定値の相関式を次に示す。

(Landsat の放射輝度)

$$Chl.a = ((Band4 - Band1) + 34.644) / 0.0269 \dots \dots (6)$$

$$濁度 = ((Band4 - Band5) - 7.7021) / 0.0532 \dots \dots (7)$$

(SPOT の放射輝度)

$$Chl.a = ((Band3 - Band1) + 25.106) / 0.0143 \dots \dots (8)$$

$$濁度 = ((Band2 - Band3) - 6.3342) / 0.0575 \dots \dots (9)$$

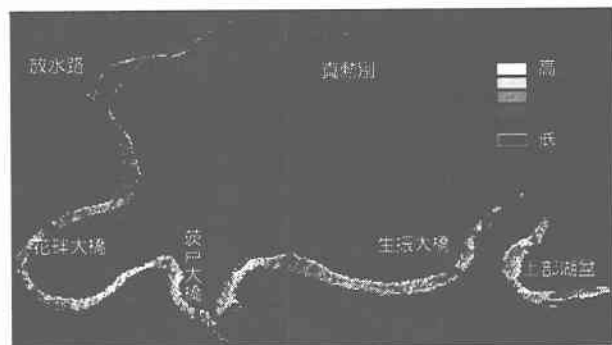
このときの相関では、どの程度の空間解像度で再現性がみられるのか、推定値と実測値ともに移動平均を行い、空間的な精度の把握を行った。

その結果、Landsat は 250 区間の移動平均(約 3,000 m)を行ったときにクロロフィル a の傾向に一致がみられるようになった(図-9～10 参照)。ただし、濁度値については上部湖盆、真熟別以外の再現性に問題がある。

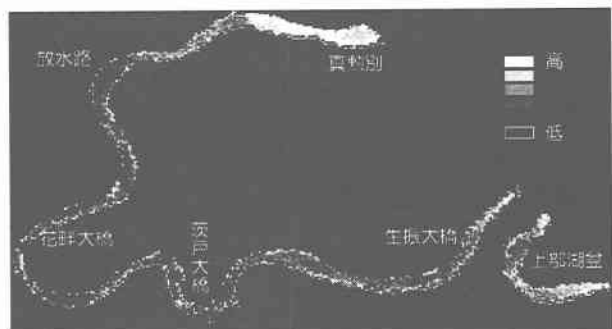
以上のことより、3,000m ほどの移動平均をかければ、

クロロフィルに関しては、ある程度の再現性があることがわかった。そこで、クロロフィル a と濁度の分布を Landsat と SPOT の人工衛星を用いて図・11～14 に示した。(クロロフィル a、濁度ともに濃度分布は、高=白、低=黒となっている。)

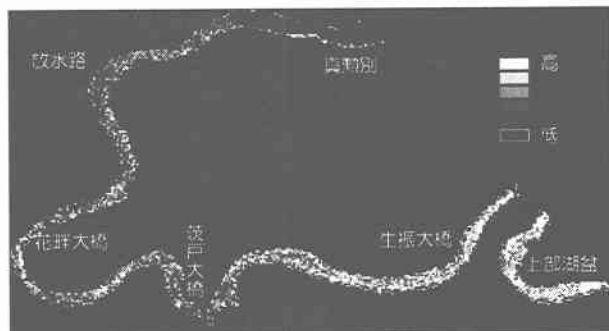
SPOT の画像で図・11 が 8 月 20 日のクロロフィル a の分布、図・12 が濁度の分布を示している。クロロフィル a は、上部湖盆と下水処理場から花畔大橋にかけて



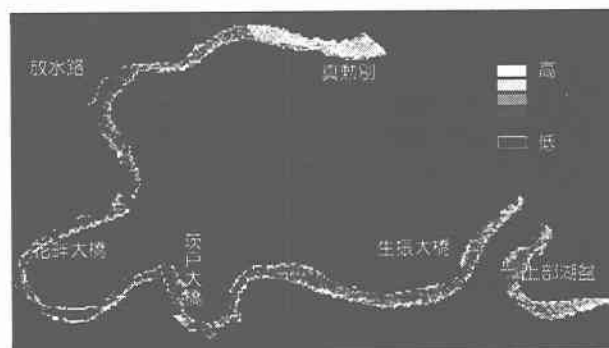
図・11 SPOT によるクロロフィル a の推定値分布 (2001.8.20)



図・12 SPOT による濁度の推定値分布 (2001.8.20)



図・13 Landsat によるクロロフィル a の推定値分布 (2001.9.24)



図・14 Landsat による濁度の推定値分布 (2001.9.24)

高いことが図よりわかる。一方、濁度は志美運河の流入口から真動別にかけて高くなっているのがわかる。

Landsat の画像で図・13 が 9 月 11 日前後の大きな出水後の 9 月 24 日がクロロフィル a の分布、図・14 が濁度の分布を示している。クロロフィル a は、真動別の値が低く、上部湖盆から中部湖盆にかけて値が高くなっている。濁度は、志美運河付近から真動別にかけては相変わらず高くなっているのがわかる。

6. おわりに

得られた知見を以下に示す。

- ・ 上部湖盆と中部湖盆のクロロフィル a と全リンは、8 月中頃にピークを迎える下部湖盆とは異なり、9 月になってからピークが発生していることがわかった。
- ・ 分光放射計を用いて反射率と水質を比較することにより、茨戸川のクロロフィル a、および濁度に関する特有の波長帯を特定した。
- ・ Landsat を用いたクロロフィル a、および濁度の推定は、3,000m ほどの移動平均をかければ、ある程度の再現性があることがわかった。
- ・ Landsat、SPOT のデータを用いて、クロロフィル a、および濁度の分布状況を示した。

今後は、地上分解能やバンドの波長帯の平均化といった問題を解決するために、分光放射計に対応して空中からも細かい空間解像度でスペクトル観測のできる機器による調査を実施していきたい。

謝辞: 本研究の一部は、平成 13 年度北海道開発受託研究費の補助をうけて実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐渡公明, 吉川泰弘; NOAA および全天日射量データを用いた網走湖のクロロフィル a 濃度の推定, 日本写真測量学会, 2000
- 2) 日本リモートセンシング研究会; 図解リモートセンシング, pp.14-19, 1994
- 3) 中津川誠, 辻珠希, 足立憲泰; 長大な停滞水域における富栄養化状態について, 世界湖沼会議, 2001
- 4) 加藤晃司, 畑本雅彦, 中津川誠, 太田陽子; 曳航式クロロフィル計とリモートセンシングによる茨戸川水質の現地調査, 土木学会北海道支部論文報告集, 57 号 (B), pp.452~453, 2001