

東京大学工学部

東京大学工学部

リモートセンシング技術センター 田中総太郎

〇市川 新

玉井 信行

1. 研究の目的

河川計画とよばれるものには、治水計画・利水計画・水質管理計画・河川内土地利用計画等様々な計画がある。これらの河川計画を行えば、それに伴い従来の環境がこわされ、新しい環境が出現する。それ故、環境を中心にしてみると、これらの河川計画は、環境をよくするか、破壊するか計画ということが出来る。それ故、環境を主体にみると、河川計画はすべて、環境計画であると考えられる。

当然の事ながら、より良い環境が出現するような計画は、よい環境計画である。それ故、環境計画は、すべてよりよい環境の出現をめざしているといえよう。しかしながら、環境は多面的であり、一つの因子のみで評価することが出来ない。ある側面からみれば、より良い環境がつくられたとしても、別の側面からみれば、必ずしもすぐれたものでないことがある。その判断は、人によっても、立場によっても、さらに条件によっても異なる。この点が、環境計画の特徴である。治水制御計画の場合は、対象治水が、一つの目的数値として設定されるのと異なる点である。

よりよい環境計画を樹てるためには、多くの因子を総合的に評価すること、多くの人の支持がえられるようなコンセンサスをたてること、必要である。それを行うためには、多くの情報を提供出来ること、それらを、わかり易い形で提示すること、かつそれを短時間に行うことが、必要である。河川の実態や、水質汚染現象は、複雑で多くの因子がからみあっており、それを定量化したり、評価するのは、きわめて困難なものである。本研究では、対象を多摩川として、上記の目的にかなう手法として、リモートセンシング技術を採用したものである。リモートセンシング技術は、近年急速に開発されたもので、環境問題への適用が提案されているが、その具体的な事例がほとんどない状態である。本研究は、初めての試みとして、リモートセンシング技術を、河川水質の解析や、河川水理学に適用し、従来の手法では、えられない情報を、短時間でかつわかり易い状態で表示することと試みたものである。これを通して、河川計画の手法が改められ、かつリモートセンシング技術の応用分野がひろげられ、我々の目的は、達せられたといえよう。

2. リモートセンシング技法

リモートセンシングとは、遠方より接触せずに、物の形状や現象を感知する技術の総称である。この定義にしたがえば、目で見たり、手で触ることもリモートセンシングであり、望遠鏡・カメラ・音波探知機・レーダー・レーザー等多くの道具が、そのために開発されてきた。

本研究で使用したリモートセンシング技術は、太陽から放射されるエネルギーの地上の物体による反射と電磁エネルギーセンサー（電磁検知管）によって捕え、それを解析する手法である。反射エネルギーのうち、物体の温度に相応して放射されるエネルギーは、物体そのもの、物体の反射率・吸収率・雲等大気中の物質による透過の程度によって異なるが、その多くは、物体と波長によって異なるものである。本研究では、 $0.38 \sim 1.5 \mu\text{m}$ の波長の電磁波を利用した、すなわち、可視域から近赤外にかけての電磁波で

表-1 使用した電磁波領域

チャネル	波長	チャネル	波長
1	$0.38 \sim 0.44$	7	$0.66 \sim 0.70$
②	$0.44 \sim 0.49$	⑧	$0.70 \sim 0.74$
3	$0.49 \sim 0.54$	9	$0.805 \sim 0.815$
4	$0.54 \sim 0.58$	10	$1.01 \sim 1.02$
⑤	$0.58 \sim 0.62$	11	1.5 以上
6	$0.62 \sim 0.66$	(単位 μm)	

⑧印は後述の擬似赤外カラー作製に用いた4チャンネル

それを表-1に示したように、11のバンドに分割して解析することが出来る。このような検知管を、マルチスペクトラルスキャナーとよぶが、本研究で使したのは、米国 Bendix 社製の MMS である。このスキャナーを航空機に搭載して、データの収集を行った。航空機の高さは、1000m、6,000mの2種、飛行速度は、175~295 km/時で行った。このときのスキャナーミラーの回転速度は、高度1000mに対して26~36回転であった。本報告では、河川水質ならし河川水文学の解析のために、高度1000mのデータを用いた。

3. データ収集

撮影は、1977年1月14日から16日迄の晴天時に行った。撮影記録を表-2に示したが、多摩川の河川沿いに14コース定め、河川上空を直線飛行しながら撮影を行なった。端部は重複するようにした。スキャンラインとは、飛行方向のデータ数を示すが、今回の飛行では、ほぼ2.2m毎にデータをとったことになる。ちなみに、データの集録単位(ピクセル)は、2.2mということになる。撮影時の流量を表-3に示したが、撮影日の約1ヶ月前より、降雨がなく、流量は、低水流量に近く安定していた。

撮影日に、二子橋・大丸用水堰の2地奥で、地上用スペクトララジオメーター(RPM)によるデータ収集を行った。データ収集は、対物(水面、草地、砂利、護岸堤、天空光、直達太陽光)と標準白色板(硫酸バリウム塗布板)に対する放射輝度の測定を行った。又、同時にこの2地奥で、各奥における水温測定を行つた。解説のキガカリとした。1月14日には、羽村堰から上河原堰迄の約30km区間の本川・支川・排水樋管の水温を測定し、水温分布図との対応を行った。水質については、同時観測が行なえなかったため、52年12月15日に、本川13地奥、支川及び排水について、石岸11、左岸13地奥計37地奥について、採水調査を行ない、写真の解説の資料とした。

4. 図化

1) 標定用赤外擬似カラー: 撮影されたHDDT(High Density Digital Tape)より直接カラーテレビジョン(19インチ)上にディスプレイした。撮影ピクセルは、1スキャンライン上850であるが、河川中に相当する300ピクセルを表示した。ピクセルの面積は、上述のように、約2.2~2.5m平方であるので、図示範囲は約750mとなる。TV上の縮尺は約3000分の1に相当する。画像上の色合成は、表-1に○印を付した、8, 5, 2の各4チャンネルで、それぞれ、赤、緑、青に相当する。このときのオフセットは2、ゲインは10であった。TV画像をカラー撮影を行つた、縮尺2500分の1に拡大し、その判読を行った。この写真を建設省が測量・図化している河川平面図(2500分の1)と平行して、パネル上に添付して、地上物との標定、河床の変動の把握を行った。

2) 河川温度分布図: 表-1に示した、11chを利用(オフセット4、ゲイン5)して、温度映像を上述のカラーテレビジョン上にディスプレイし、カラー撮影を行つた。5000分の1の写真に拡大してパネルを作製した。温度の設定は、グラントルーヌから、最低0℃、最高40℃とし、これを最も効果的に表示するために、0.5℃おきに、低温から高温になるにつれて、寒色系から、暖色系になるように色調を与えて、表示した。

5. 解説

表-2 データ収集記録 1977年1月

コース	収集日	区 間	距離	スキャンライン
1	14日	河口 ~ 蒲田	5km	2280
2	16	羽田 ~ 矢向	7	3080
3	14	川崎 ~ 池上	3	1120
4	14	六郷 ~ 丸子	4	1780
5	14	矢向 ~ 駒沢	4	1780
6	13	尾山台 ~ 粕江	6	4100
7	13	尾山台 ~ 稲田	7	2880
8	13	溝口 ~ 墨政	7	3100
9	14	調布 ~ 旧野	6	2440
10	14	連光寺 ~ 立川	6	2220
11	14	谷保 ~ 高月	8	3080
12	14	石川 ~ 青梅	7	3056
13	16	昭島 ~ 青梅	7	3100
14	16	梅郷 ~ 青梅	7	2880

表-3 調査日の流量 (m³/sec)

	羽 村	石 原	調布堰
1月5日	8.48	6.5	7.26
7日	9.44	6.5	7.78
9日	9.43	6.5	7.78
11日	9.56	6.5	7.60
13日	6.24	6.5	8.61
14日	6.31	6.5	8.32
15日	6.11	6.5	7.86
16日	6.08	5.9	7.27

東京都水道局・建設省の資料による。

1) 温度のグラントルース結果の検証: 図-1 にニ子橋における温度分布図とグラントルース結果を示す。本川においては、 8°C 、野川で 7.5°C 、野川合流後の水温は 6.5°C と判読出来るが、地上でのグラントルースでは、それぞれ 9° 、 8° 、 7°C であり、両者に完全な一致はみられなかった。この場合、流量は十分にあり、図上でも標定出来たが、河床が瀬になっていたり、採水部が岸に片よっていたり、水深方向の温度分布が、正しく測定されていなかったため、このような差が出てきたものと思われる。野川でも河川中は約13mであり、ピクセル数にすると、

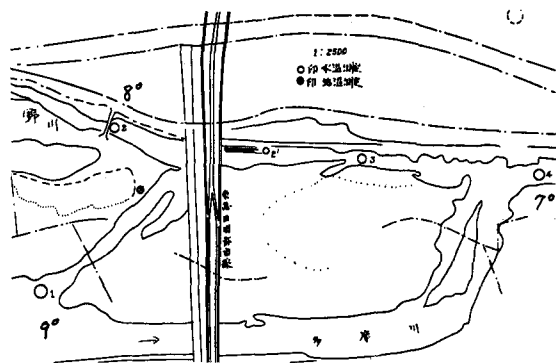


図-1 ニ子橋地点の水温調査地点の温度分布

4~5であり、判読は困難である。一方本川についても、水深が20~30cmの所が多く、調査時の気温 15°C 、地温 20°C の影響があり、局部的に低温となっている事が考えられる。一方水温を測定するのも、岸辺に限定されるため、ピクセル内の平均水温と必ずしも一致しているとはみづらなうために、このような差が出てきたものと思われる。

図-2は、大丸用水堰下流部のグラントルース図である。堰はそれほど高くないが、湛水面積が大きく、流動は少ない。調査日は、灌漑用水のとり入れが行なわれていなかったため、堰の中央部から溢水していた。左岸には墨政排水といって、府中市の農業排水、工場排水、家庭の雑排水が流入している。この排水の水質はわるく、堰下流の本川の水質を悪化させている。右岸には、南多摩下水処理場、多摩川衛生組合の厚永処理場があり、その処理水が流入している。これらの排水はいずれも、水温が $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ で、大丸用水堰の湛水部のそれの 5°C と大きな差がある。しかしながら、温度分布図では、 12°C 低い状態であるのと、本川と、排水の間には、大きな差が認められなかった。

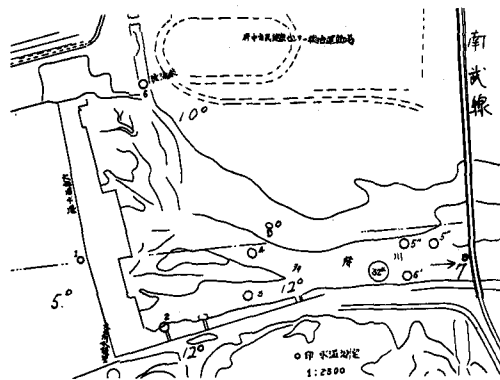


図-2 大丸用水堰下流の温度分布

ここでは示さないが、羽田空港附近の河口部では、水温の差がかなり明瞭にあらわれていた。左岸から海花取水が流入し、その水が、羽田空港沿いに、分布している事がよみとれた。しかし、グラントルースを行なわなかったために、この差が、温度の差によるものか、水質の差によるものか、あきらかに出来なかった。又、水温の差として、その差が実際の水温の差とどのように対応しているか、あきらかにする必要がある。いずれにせよ、河口部は、流れが少なく、水深も大きく、流況が安定かつ水質の差が大きいため、海水と淡水の差をよみとることが出来たものと思われる。

以上の考察から、今回の調査では、4チャンネルを用いた水温分布図では、必ずしも成果がえられていない。河口部でみるように、流れが安定し、かつ水質・水温も含めての差が大きくかつ、量が大きい場合には、ある程度、その差を判読することが出来るものと思われる。具体的には、湾内の温排水の拡散や、親潮・黒潮のような大水塊の混合を観測することは可能であろう。一方多摩川のように、本川及び流入水の水量が少なく、かつ流況が不安定な場合には、水温分布図のみで、排水の挙動や、本川の流動特性を判読する事は困難と思われる。

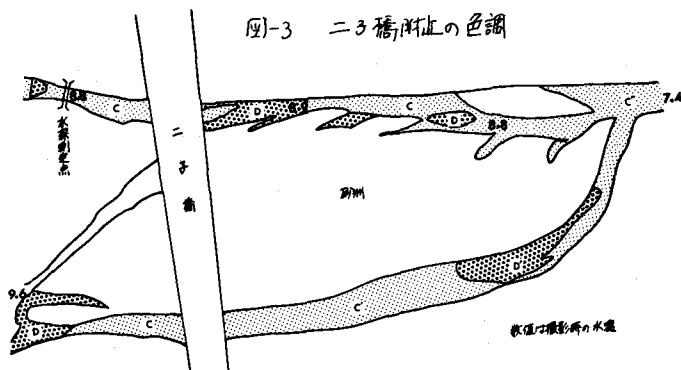
1) 標定用擬似赤外線カメラ写真の判読: 標定用擬似赤外線カメラ写真は、当初温度分布図の標定を目的として、作製したが、この写真を詳細にみても、温度分布図からでは判読出来ないような、河川の流動状況に関する数

々の情報がえられることわかった。ここにその成果の一部を報告し、ひいては、リモートセンシング技術の応用面の開発の一助とした。しかしながら、この擬似赤外カラー写真は、河川の流動解析を目的として作製したものでないので、この目的に応じて、チャンネルの選択、ゲイン数・オフセット数を適当にすることにより、より多くの情報がえられる可能性があるものと考えている。すなわち、撮影されている情報114チャンネルのうち、3つのチャンネルにより色合成が出来るか、その組合せは、 $11C_3=165$ 通りとなり、さらに、各々の組合せに対して、色調の範囲を選択出来るので、ほぼ無数ともいえる画像を74上に映像させることが出来る。

擬似赤外カラー写真には、様々な色があらわれているが、河川内においては、次に示す、8種類の色がよくみられた。この色調のあらわれる所が、河川水質と河川水理学的に共通しているため、8つのカテゴリーに分類した。報告時には、カラー写真を示すが、本報告では、次に示すモザイクで表現することとした。

- A  濃青色(ブルー)で、港水部又は湾に相当する所にみられる。水深は大きい。
- B  緑青色(グリーン)で、Aと同じ港水部又は湾にみられるが、Aに比して水深の浅い所によくみられる色調である。
- C  淡青色(ライトブルー) Aに近い流況にみられるが、水温が高いか、水質が汚染されている所にみられる色調であり、二子橋下流に多くみられる。
- D  淡紫色(スチールブルー) 渚筋と砂洲の境によくみられる色調である。渚部より流速が大きく瀬となっている所と考えられるが、砂なっし礫はほとんど露出している所の色調である。
- E  茶褐色(ブラウン) 瀬の部分、とくに河床が礫で礫の表面に生物が附着しているような所によくみられる色調である。D部に比し、水深が浅く(平均化されている)かつ流速が大で、細礫・土砂が流出し、20~40cm以上の礫が露出している所である。
- F  緑(ダークグリーン) 排水とくに茶褐色な、灰黒色の下水に近い色相をもった水にみられる色調である。平瀬川・国立排水、調布排水等において、この色調が顕著にみとめられた。又、この排水が、A又はB部に流入する場合も、この色調のみを追跡すること可能であり、排水の混合・拡散とある程度推測すること可能であった。
- G  淡緑色(エメラルドグリーン) Fで示された排水を希釈された。水深の浅い部分でみられる色調である。排水の色調の一つと思われる。
- H  赤褐色(エンジ) この色調は、浅川合流点附近と、調布堰の上流部のみでみられる色調で、その原因な、成因はあきらかでない。場所的には、瀬に相当する部分であるが、他の地点では、Dな、Eの色調で示されており、この色調はみとめられていない。調布堰の上流の場合には、砂洲の周辺にこの色調を認められるが、他の地点では、Bで示される所が多い。1つの理由として、河床な、し礫上に、繁茂している生物層の色調からくるものと考えられるが、現在の所、どのように断定すること出来ない。

①二子橋: 上流部で平瀬川が流入しているが、本川内ではほぼ一様に拡散・混合されているため、色調は、二子橋の前後ではほぼ一様の濃青色となっている。なおこの地点の水深は20~40cmで、河床もほぼ一様である。二子橋地点の水質は51年12月では、BOD、 6.1mg/l 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 2.7mg/l となっており、環境基準を若干上回っているが、汚染が激しいという



状態ではない。この地質では、多くの機関により水質調査が行なわれているが、BODでいうと、結果の中央値は、 $6\sim7\text{mg/l}$ であり、経年的に汚染が一定であり、あまり変化がない。左岸には、野川が流入しているが、近年野川流域に人口が集中してきたため、そこから生ずる雑排水の量が増加している。1976年12月の調査時においては、 $2.1\text{m}^3/\text{sec}$ の流量があり、水質もBOD 18、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 10 mg/l と大きく、本川の水質に与える影響は大きい。野川の水質の経年傾向は年中央値でいうと、1967年の17から、70年の34 mg/l へと急増しているが、その後、規制が強化されたためか、水質は改善されているが、色調も灰黒色の下水色としており、良好とはいえない。なお別の調査によると、流域人口は65万人といわれており、流域内の水道使用量は19万 m^3 で平均 $2.2\text{m}^3/\text{sec}$ となることから、野川の流量はほとんどすべて、使用済みの水と考えられる。このように、本川・支川と、水質的に大きく異なるが、画像では、図-3に示すように、両川とも、淡青色に分類されて、両者に明らかな差は存在しない。野川の合流直前は、水深90~120cmのある流れとなっているが、合流点近く(図-3のD部)では、15~30cmであり、本川のそれとほとんど変化ない。それより、水理的条件の差から色調が影影とうけていると考えられる。

②平瀬川: 図-4に平瀬川の合流点と、平瀬川の水塊の色調を示す。平瀬川は、そのものの流量は、出水時以外は少ないが、本川合流点の約200m上流部で、ニヶ飼用水の溢流水をうけており、それが流量の大半を占めている。

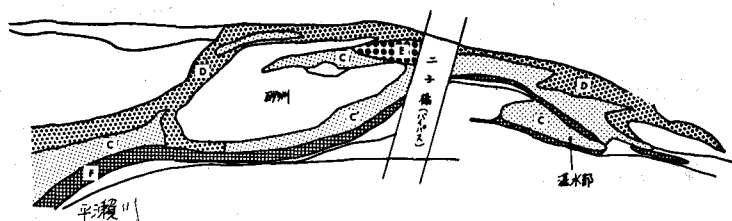


図-4 平瀬川の水塊の分布図

いる。ニヶ飼用水は、上河原・新河原両堰から取水しているが、冬期はほとんど取水されていない。しかし、ニヶ飼用水は、そのものが排水路なしに都市下水路化しており、川崎市の西北部の雑排水をほとんどうけており、平瀬川に溢流して、本川に流入している。流入量は、76年の調査では $2.4\text{m}^3/\text{sec}$ であったが、平均的には、 $0.4\sim1.0\text{m}^3/\text{sec}$ の周といわれている。この排水は他の支川なしに排水とそれ程大きな差はないが、色調は、緑(F)となっており、本川に入っても、緑色の帯となっており、直線距離にして約600m追跡出来る。本川に流入すると、本川のエネルギーが大きいため、右岸側の砂洲におしつけられた形で沈下し、本川へ拡散・混合している様子はあまりみえない。現在策画中の二子橋バイパスの下流まで、追跡出来るが、この付近の平瀬川の水塊のピクセル数は $1\sim2$ であり、水塊の中とすれば、 $2\sim5\text{m}$ 程度である。本川は湛水部となるが、その中でも平瀬川の水塊がみられるが、湛水部をすぎた浅瀬となると、全体が淡紫色となって、平瀬川の水塊がほぼ完全に拡散混合したといえる。なお、平瀬川の水質は、褐色から灰黒色に近い下水色を有しており、BOD 16、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 7 mg/l と高い値となっているが、これらが浮遊性の物質であることから、判読しやすくなっているのかも知れない。

③河口より24km地質: 河口より24km地質の上流では、左岸より調布排水、六郷排水という2つの排水が流入している。前者は、府中用水という農業用水の排水路であるが、市街化と共に、都市下水路化し、50年度より、雨水溢流の排水植管となっている。しかし、この付近の砂利採掘工場の土砂洗浄排水をはじめとする多くの排水が流入するため、排水の色相は、茶褐色で、浮遊物質の多い排水である。後者の六郷排水も、農業用排水路の一つであるが、都住宅供給公社の団地(3874戸)のコミュニティプラントの処理水が入るため、水質は必ずしもよいとはいえない。その結果、本川は

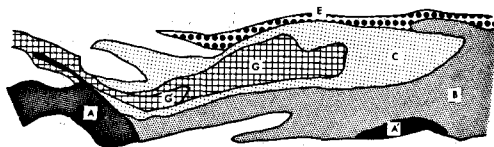


図-5 河口より24km地質の色調

排水特有の淡緑色を示している。又この附近の本川の流心が、右岸から左岸にかけて湾曲した所で、両排水とわけており、両排水の流れる部分の左岸は深くほられて溝となつてゐる。それ故、本川全体が、淡緑色1色になり24km 地裏に入り、図5のようになつてゐる。図5の左端部は瀬となり、流れが速くなりその下流部の湛水部なつし停滞部に本川が、*jet*状に流入してゐる。流入部の右下に、濃青色Aがあるが、こゝは、停滞部であり、本川の流入による影響をほとんど受けない地裏と考えられる。図5でGとしたのは、G部よりも濃い色をしてゐるため、このようにG部を2つに分けることにより、*jet*状の流入の状態をより一層あきらかとなる。すなわちG、G、Cと3つに*jet*状流入部の排水の拡散状態をあきらかとなるが、拡散部の流れ方向と横方向への拡散の程度から、この地裏では、横方向の拡散がほとんどないか、あつてもほとんど無現出する事があきらかとなる。

④浅川とその合流点附近：浅川の上流約300mの所に四石下堰があつたが、1974年の洪水の時に破壊され、堰地裏で瀬となり、流れが急になつてゐるか、合流点近くで、水深も大となり比較的安定した流れとなり、色調でいつても濃青色Aとなつてゐる。日野悪水は、農業用水の排水路の1つであるが、流入地裏の近くに、日野市の屎尿処理場の処理水や、土石業の洗淨排水も流入しており、水質的には必ずしも良いわけではない。(ただし、本川に流入しても、高水敷で曲線となつていたり、湛水してゐたりするため自浄作用をうけており、図-6に示した排水地裏の水質と、本川へ流入する際の水質とは、かなり異なつてゐるものと考えられる。浅川は、1962年に河道整備事業を行なわれ、現在地に流路が固定されたが、洪水時には高水敷を溢流し、桂久保川寄りて本川に流入するようである。浅川の水質は、BOD 8mg/l NH_4-N 8mg/lとなつており、かなり悪い。図-6に示すように、浅川の合流点のすぐ上流の所に赤褐色の部分があり、その上流は、濃青色Aとなつており、下流部は、茶褐色Eとなつてゐる。前者は、四石下堰の地裏の瀬の部分か、瀬なつし溝に小わつた所であり、後者は、日野悪水による水質変化によるものと考えられる。浅川と合流後は、緑青色Bとなつてゐる。合流地裏附近は停滞してゐるわけではないが、水の中も大きく、水深の浅い比較的流れがゆるやかな状態になつてゐる事を示してゐる。左岸側に濃青色Aがあるが、こゝは、洪水以前の流心のあつた部分で、洪水時に流心が現在のものになつたあととりのこされた部分である。なお、浅川の下流部に赤褐色部があるが、これが何を意味してゐるか、あきらかになつてゐない。

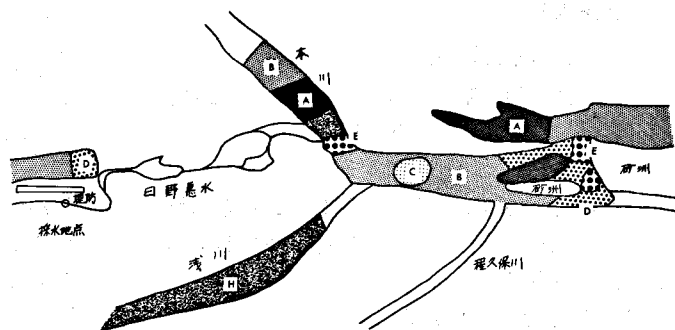


図-6 浅川とその合流点附近の色調

ずしも良いわけではない。(ただし、本川に流入しても、高水敷で曲線となつていたり、湛水してゐたりするため自浄作用をうけており、図-6に示した排水地裏の水質と、本川へ流入する際の水質とは、かなり異なつてゐるものと考えられる。浅川は、1962年に河道整備事業を行なわれ、現在地に流路が固定されたが、洪水時には高水敷を溢流し、桂久保川寄りて本川に流入するようである。浅川の水質は、BOD 8mg/l NH_4-N 8mg/lとなつており、かなり悪い。図-6に示すように、浅川の合流点のすぐ上流の所に赤褐色の部分があり、その上流は、濃青色Aとなつており、下流部は、茶褐色Eとなつてゐる。前者は、四石下堰の地裏の瀬の部分か、瀬なつし溝に小わつた所であり、後者は、日野悪水による水質変化によるものと考えられる。浅川と合流後は、緑青色Bとなつてゐる。合流地裏附近は停滞してゐるわけではないが、水の中も大きく、水深の浅い比較的流れがゆるやかな状態になつてゐる事を示してゐる。左岸側に濃青色Aがあるが、こゝは、洪水以前の流心のあつた部分で、洪水時に流心が現在のものになつたあととりのこされた部分である。なお、浅川の下流部に赤褐色部があるが、これが何を意味してゐるか、あきらかになつてゐない。

6. 総括

本研究では、膨大なデータから、2種類の画像をつくり、そこに図示された情報の解読を行つたが、第1に、多摩川における排水の挙動があきらかに出来たことと、河川水理学的考察が、図によつて十分裏づけられたことが第2の成果である。この事から、水質データの解読はより厳密に出来るようになったし、将来水質調査計画を立てる際にも、本研究の成果をふまえて、より合理的なものにする事が出来るようになった。又、こゝでは述べなかつたが、洪水時の流況と、土砂の堆積状況と推測することが可能な事が示された。

野川で示したように、現在図化したみどりでは、排水の挙動はあきらかでない場合には、チャンネルを切り換える事により、解読が出来るものと考えられるので、今後さらに検討を加えていきたい。

本研究を行うにあたり、建設省京浜工事事務所から多くの便宜をうけた。又この解読には、筆者達の所属する機関の方々の御協力によるものであることと記し、併せて深く感謝する次第である。