

低高度空中写真による河川環境調査法

A SURVEY METHOD OF RIVER ENVIRONMENT UTILIZING AERIAL PHOTOGRAPHS AT LOW ALTITUDE

大野 博之¹・萱場 祐一²・林 貴宏³・傳田 正利⁴・浅見 和弘⁵・島谷 幸宏⁶

Hiroyuki OHNO, Yuichi KAYABA, Takahiro HAYASHI, Masatoshi DENDA, Kazuhiro AZAMI and Yukihiro SHIMATANI

¹正会員 工博 応用地質(株)技術本部河川部 (〒330-8632 埼玉県大宮市土呂町 2-61-5)

²正会員 工修 建設省土木研究所環境部河川環境研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

³正会員 建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所調査課 (〒520-0000 滋賀県大津市田上黒津町 4-5-1)

⁴正会員 建設省土木研究所環境部河川環境研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

⁵工修 応用地質(株)環境エンジニアリング事業部技術部 (〒330-8632 埼玉県大宮市土呂町 2-61-5)

⁶正会員 工博 建設省土木研究所環境部河川環境研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

It is an important aim that the river environment is preserved in the river improvement. Then we need to promptly grasp the river environment at wide area. One of the methods applicable to measure the river environment is the survey using the aerial photographs at low altitude.

On this survey, at first, we take some aerial photographs at low altitude (dozens to several hundreds meters). Secondly, using the aerial photographs, we frame an image which made the geometric and color-tone revisions, and make a figure classified by the texture and the color of image. Finally, we make the environmental base-map utilizing the in-situ data. Thus, we can grasp the distribution of vegetation, shallows and pools, river shape, and riverbed materials.

Key Words: *Aerial photograph, survey of river environment, environmental base-map, shallows and pools, riverbed materials*

1. はじめに

近年、世界的な環境問題への関心の高まりを受けて、建設事業にも、利便性や経済性に加え、自然環境や生態系を考慮した事業の推進が求められるようになり、平成6年の建設省による環境政策大綱の策定以降は、建設事業においてこうした環境を内部目的化するようになった。河川事業においても、従来から、川らしい川や地域らしさのある川の創出・保全が求められていたが、平成9年には河川法が改正されて河川環境の整備と保全が加えられた。また、平成9年度から定められた第九次治水事業七箇年計画の河川管理の目的としても、「自然を活かした川」づくりを目指すようになった。

その一方で、これまで主に治水・利水を目的としてきたダム管理において、洪水調節容量を一部活用

して、安全性を確保しながら、生態系の維持や清流の回復などを目的とした弾力的管理が試行されている¹⁾。ダムの下流河川においては、ダムの存在により土砂の供給が遮断されること、また、流況の安定化、減水区間の出現等が自然環境に影響を及ぼすと指摘されている。

こうした、自然をいかした川づくりやダムの弾力的管理などにおいては、河川環境を迅速に且つ広範囲に捉える必要がある。しかしながら、従来の環境調査手法では、多大な現地労力と時間が掛かり、全体をマクロに把握することがなかなか困難であるといった問題を含んでいた。

環境を考慮するということが、多くの事業で一般化してくれば、従来の方法だけでは迅速性と経済性の面で大きな課題が生じる。そこで、最近、従来の直接的調査法に加えて、間接的な手法で環境をなるべく乱さないで、且つ、安価で短時間に現地データを得る手法の確立が求められている。

この方法の一つとして、低高度の空中写真撮影による調査法が挙げられる。これまでの撮影画像は、飛行機による空中写真やランドサット画像など比較的広範囲の流域レベルの環境把握には有効であった。一方、自然をいかした川づくりやダム弾力的管理において問題となる河川環境の範囲は、流域レベルというような大スケールばかりではなく、区間レベルや地先レベルといった中小スケールを対象とすることが必要である²⁾。飛行機による空中写真でこうしたスケールを対象とした調査を行う場合は非常に高価な調査となる。また、通常の空中写真より低高度の空中写真が必要となる。

一方で、空中写真は、様々な情報を含み、解析手法等の開発により構成材料や水深、流況などを捉えることが可能である³⁾。こうした写真情報は、生物のすみかとなるハビタットの情報でもあり、物理的なハビタットマップの作成にもつながるものである。

以上のことを踏まえ、ここでは、低高度の空中写真を用いた河川の自然環境の把握手法について述べる。

2. 低高度空中写真撮影による調査

(1) 低高度空中写真

低高度空中写真とは、通常の飛行機による高度とは異なり、数十m～数百mの高度から撮影したものである。そのため、撮影対象は、河川のスケールで言えば、区間レベルや地先レベルのものである(図-1)。低高度で撮影することで、それまで分りにくかった詳細な情報も把握することが可能となる。

こうした低高度空中写真の判読により、1)河川植生、2)河川形態、3)水深(瀬・淵)、4)河床構成材料などを把握することが可能となると考えられる。こうしたデータは、河川植生の群落の分布、底生動物の生息環境、魚類の生息環境と産卵場の状況を示す基礎データとなる。

(2) 調査方法

調査手法の流れは、以下の通りである。

a) 撮影の準備

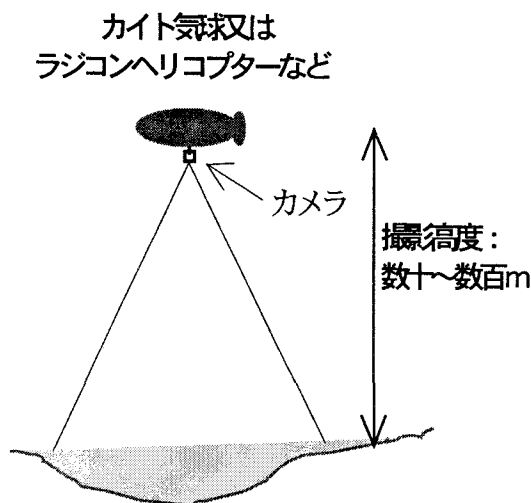
基準点(杭や鋌など)の設置と測量を行う。長期間のモニタリングを行う場合、基準点としては、木杭などの壊れやすいものではなく、金属標の埋設等の長期にわたって保持できるものをいくつか設けることが望ましい。

b) 低高度の空中写真撮影

現場の状況を考慮した撮影方法・条件にしたがって低高度の空中写真撮影を実施する。これらの詳細については、次章で述べる。

c) 地形データへの画像の取り込み

撮影写真画像を地形データに組み込む(地形図に貼り付けるような作業であり、画像をGIS上でポリゴン化させるのも一つの方法である)。この時、それぞれの写真画像をデジタル化し、幾何補正(主にアフィン変換による外部歪みの補正)や色調補正(主に明度・コントラスト調整)を行い、図-2に示すような、実際の距離や面積などを把握できるようなデータに変換する。



河川の自然環境保全対象となる調査対象と画像の種類
(島谷(1998)²⁾ に加筆)

スケール	調査対象	画像の種類
大 流域 数十～数万 km ²	土砂生産、放流量、 貯留、浸透量、 土地利用、 コアエリア	衛星画像 一般空中写真
中 区間 数 km ²	川幅、低水路幅、勾配、 流量、 水温、水質、 生物の種群	一般空中写真 低高度空中写真
小 地先 数十～数千 m ²	流速、水深、底質、 空間構造(河川形態など)、 河岸材質と構造、 土壌、生物の種	低高度空中写真

図-1 低高度空中写真撮影とその対象

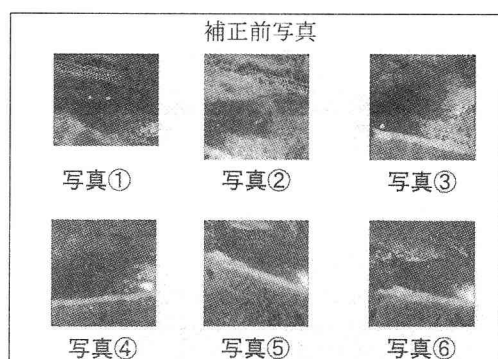


図-2 オリジナル写真画像の地形データへの取り込み

d) テクスチャーマップの作成

河川植生、河川形態、瀬・淵の分布、河床構成材料に関連した写真の色やテクスチャーについて、写真の判読を行う。

写真からの認識では、植生や河床構成材料などの細かい種類や構成割合を把握することはできない¹⁾ので、写真のテクスチャー(Texture)²⁾や色などによる違いを類型化し、いくつかの分類群に分けた図面を作成する(この図面は、テクスチャーだけでなく色も含んだ類型化によって作成するが、ここでは、単に、テクスチャーマップと呼ぶことにする)。

e) 現地確認調査

現地にて、d)で作成したテクスチャーマップを環境ベースマップに直すための調査を行う。

- ① 河川植生：分類したパターン毎における群落の確認
- ② 河川形態：形態変化のみられる箇所についての確認
- ③ 瀬・淵：現地にて大枠の水深の確認
- ④ 河床構成材料：分類したパターン毎における材料の構成割合などの確認

f) 環境ベースマップの作成

上記、d)及びe)の結果を基に、河川植生、河川形態、瀬・淵、河床構成材料などの分布図を作成する。現地確認調査によって得られたデータをキャリブレ

ーションデータとして、d)のテクスチャーマップを実際の瀬・淵、河床構成材料などの分布を表わした環境ベースマップに直す。

時系列的に写真を撮影することにより、経時変化を追うこともでき、モニタリングの一種として利用可能である。なお、こうした場合に、地形データへの画像の取り込みが、定量的な変化を捉えられるという点で大きなメリットとなる。

3. 撮影方法と条件

(1) 撮影方法

低高度による空中写真の撮影は、以前から実施されてきた手法であり、これまでも斜面を対象とした調査や遺跡を対象とした調査などに利用されてきていた⁴⁾。しかしながら、従来のリモートセンシングや写真測量の観点からは、精度が悪く、精密調査としては余り利用されてこなかった⁵⁾。一方、環境調査においては、調査対象が区間レベルや地先レベルといった狭い領域を対象とすること、マクロな環境の把握が目的であることなどから、低高度空中写真による調査が有効な手段となってきた。

低高度空中写真の撮影方法には、いくつかのものがある。代表的なものとして、ここではカイト気球、ラジコンヘリ、ラジコン飛行機の3つの方法を上げ、その利点・欠点について比較検討した。なお、ここで示した手法の他にカイト飛行機などによる方法もあるが⁶⁾、用いられることは少ない。

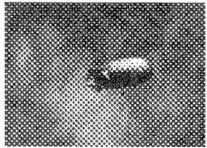
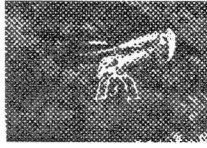
表-1に3つの撮影手法の比較表を示す。撮影箇所の条件や気象条件等によって、どの手法を用いるかが異なる。

例えば、河川敷が比較的広く、時間的には迅速性を要求されず、風が弱いといった条件においては、撮影高度の安定性の良さ、地形データへの画像の取

¹⁾ 撮影条件やプリント写真のサイズにもよるが、四つ切写真を基準とすれば、通常は、撮影距離に対して1/500~1/1000程度の細かさの物まで認識することができる。例えば、撮影距離50mであれば、φ10cm~5cm程度のものを一つ一つ認識することが可能である。

²⁾ 写真などの肌面のことで、一般的にはざらざらとした、すべすべとしたなど、質感を指す言葉である。

表－１ 低高度空中写真の撮影方法とその特徴

撮影方法		撮影の特徴	撮影条件
カイト気球		- 一定の撮影高度を保つのが容易である。 - 上空での安定性が良いので、定点撮影等が容易である。 - 標高 2000m以上では、高標高用のカイト気球を使用して撮影する。 - 雨天の場合でも撮影は可能である。 - 移動時間が比較的長い。	- 風上げと同じなので足場が必要である。 - 風に極めて弱い。 - ヘリウム(又は水素)ガスの注入場所の確保が必要である。
ラジコンヘリコプター		- 移動時間が比較的短い。 - わずかな広さの離着陸ポイントがあれば良い。 - 人のいけない場所にも移動可能である。 - 一定の高度を保つのが難しい。 - 標高 2000m以上では、グローエンジンを使用する。 - 急峻な谷地形でも撮影は可能である。	- 高度な操縦技術が必要となる。 - 地上操縦地点より見える範囲での撮影となる。 - 強風での撮影は避ける。 - 雨天の場合での撮影は避ける。
ラジコン飛行機		- 人のいけない場所にも移動可能である。 - 移動時間が短い。 - 行動範囲が広い。 - ラジコンヘリよりは一定の高度を保つのが容易である。 - 標高 2000m以上では、グローエンジンを使用する。	- 高度な操縦技術が必要となる。 - 地上操縦地点より見える範囲での撮影となる。 - 長時間の飛行は困難である。 - 離着陸用の滑走路として広いエリアが必要となる。 - 雨天の場合での撮影は避ける。

注)撮影画像の精度はどの方法もほとんど変わらない。ただし、条件によって若干の差が出る場合がある。

無風状態での精度の良い順：カイト気球→ラジコン飛行機→ラジコンヘリコプター

風のある場合での精度の良い順：ラジコン飛行機→ラジコンヘリコプター→カイト気球

り込み等の後処理のし易さなどから、カイト気球による撮影方法が適した手法と言える。

一方、人が河川に踏み込みにくく、気象条件が変わりやすく迅速な撮影を要求されるような場合には、撮影高度の安定性が劣るラジコンヘリによる撮影方法が最適な手法である。

また、標高が 2000m 以上の現場では、空気が薄くなり、通常のカイト気球によるラジコンでは不完全燃焼が起き、動かなくなる場合がある。このような場合には、グローエンジンによるラジコンや高標高用のカイト気球を用いる必要がある。

滑走路が確保できるような現場であれば、ラジコンヘリよりも撮影高度の安定性が良く迅速な撮影のできるラジコン飛行機が適した撮影方法となる。

なお、いずれの撮影方法でも、撮影範囲が数十 km²に及ぶような広範囲なものでは、後処理に膨大な労力と時間が掛かるので、むしろ一般の空中写真を用いた方が効率的な場合もある。

(2) 撮影条件

筆者らは、河川環境を捉えることを目的として、いくつかの撮影を行い、環境ベースマップを作成するための撮影条件を検討した。以下にそこから得られた知見を示す。

撮影の高度については、撮影対象や目的によって異なるが、通常、両岸が入る程度の高度を取ることが多い。もしくは、直列配置ではない4本以上の杭が入るような高度で撮影する。これは、地形データへの撮影画像の取り込みのし易さを考えたものである。一方、

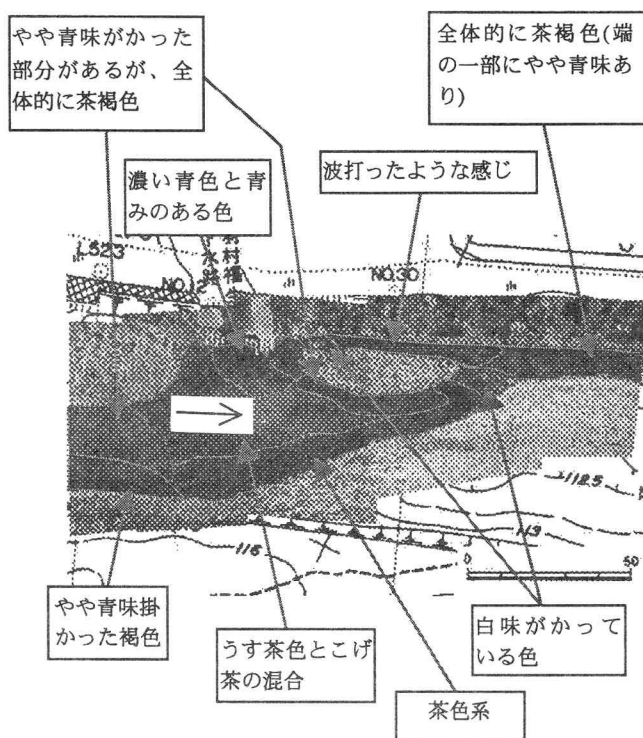
現場状況によって撮影高度が高くなる場合、詳細な河川状況を判読するために、フィルムの数十倍に拡大した画像を用いる必要がある。その場合には、フィルムが大きく解像度の高い 66 カメラや 67 カメラを用いる必要がある。

撮影は、基本的に上空から真下に向って行われるが、水面を撮影する場合が多く、ハレーションを起こしやすい。その場合は、水面に対してやや斜め方向から撮影したり、ラップ距離を短くし多くの写真を撮るようにすることで、ハレーションの影響を軽減する必要がある。

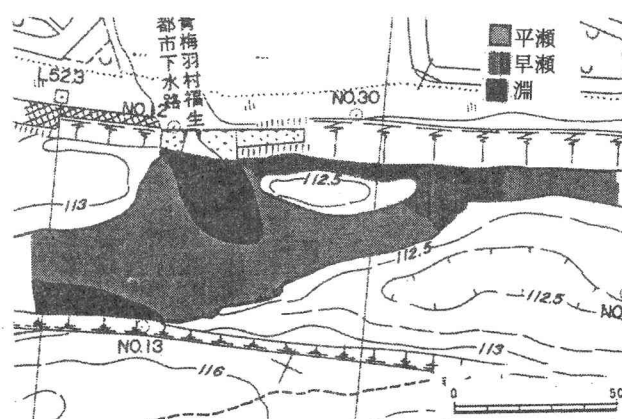
天候としては、十分な光量を得ることが必要であるので、なるべく晴れた日が良い。しかし、ハレーションの影響や陰の影響を考慮してやや曇りの日が良い場合もある。天候条件は、現場状況を良く踏まえて判断する必要があり、陰は、太陽と川の方向を考慮し、季節や時間による陰の影響を軽減するように努める必要がある。

低高度の空撮用のプラットフォーム(カイト気球、ラジコンヘリ、ラジコン飛行機などの撮影のために用いる飛行物体)には、通常、35mm から 67 カメラの搭載が可能である。一部のラジコンヘリには5インチカメラの搭載も可能となるが、ラジコンヘリの機動性が落ちること、白黒フィルムが一般的でカラーは高価であることなどから、用いられることは少ない。

最近では、一部のラジコンにGPSを搭載することが可能となってきた。GPSにより撮影点の位置を割り出すことが可能となるが、Z方向(高度)の誤差がまだ大きいという欠点がある。今のところ、杭の設置に



(a) テクスチャーの類型化



(b) 環境ベースマップ

図-3 瀬・淵の分布を把握した例(多摩川永田地区)

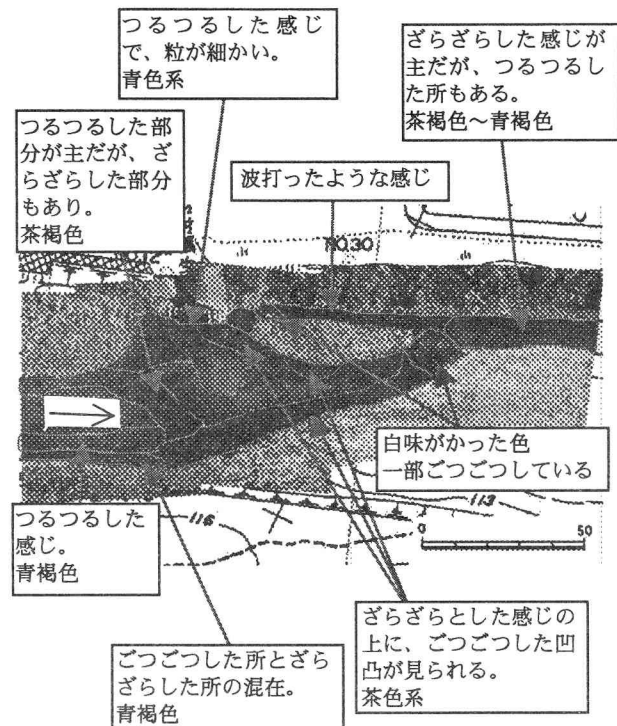
より撮影画像の補正が行えるので、これによるメリットは少ない。しかしながら、将来的に、GPSの精度が向上すれば、杭の設置が不要となるとわれ、その開発が待たれるところである。

4. テクスチャーの類型化による分布の把握

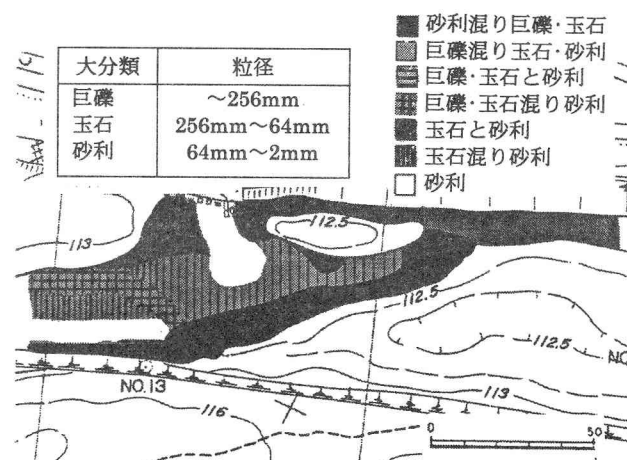
(1) 瀬・淵の分布の把握

水深の違いから生じる瀬・淵の分布については、主に写真の色の違いから判読することが可能である。瀬・淵に関して、色とテクスチャーによる分類を行った図と実際の瀬・淵分布図を図-3に示す。

図-3(a)のように、写真上で「白味がかかった色」



(a) テクスチャーの類型化



(b) 環境ベースマップ

図-4 河床構成材料の分布を把握した例(多摩川永田地区)

や「波打った感じ」の部分は、(b)に示すように早瀬となっている。

一方、写真上で「青色系」の部分は淵となっている。写真の下流の「端の一部にやや青みあり」の部分は、実際に左岸の一部に水深 70cm 程度と周りの数十 cm より深い箇所が見られるが、全体としては平瀬を構成していると考えられるので、そちらに分類した部分である。

さらに、写真上の茶色系の部分は平瀬となっている。茶色系には、非常に白っぽい茶色と、濃い茶色が存在するが、この色は、本河川の河床の色を反映したものである。

一般に、可視光におけるきれいな水の光の吸収は、波長が長い(赤色系)ほど大きく、逆に波長が短い(青色系)ほど小さいという性質がある⁷⁾。そのため、水深の深い淵では水面の色は青みがかった色となり、浅い箇所は河床構成材料の色を反映しやすい。一方、瀬の中でも、平瀬の場合は、水深が浅く波立つことが極めて少ないので、河床構成材料の色を反映しやすいが、早瀬は波立つ部分が多く、波しぶきの色が反映され白味がかったものとなる。なお、こうしたことは、水の透明度が高いことが一つの条件となる。

以上のように、テクスチャーマップより瀬・淵、水深(定性的)などの判別が十分可能であることがわかる。

(2) 河床構成材料の把握

河床構成材料分布の把握は、写真のテクスチャーと色の違いにより類型化することができる。図-4にその一例を示した。

この図のように、写真上で「つるつるした感じ」のテクスチャーは細粒分(この場合は砂利)が多い河床を示しており、「ざらざらした感じ」はやや粗粒(この場合は玉石)の材料で構成されている。一方、「ごつごつした感じ」で、凹凸が見られるテクスチャー部は、最も粒径の大きな材料で構成されている(この場合は巨礫)。

この結果からもわかるように、砂利については、つるつるとしたテクスチャーとなり、細かい粒子を一つ一つ認識することが難しい。このように、細粒分は写真上で認識しがたく、特に、現地確認調査でその河床の構成材料を判断する必要がある。

また、「波打った感じ」のテクスチャーは、河床構成材料を反映しておらず、水面の状況を反映していると考えられる。従って、こういった箇所についても現地確認調査が重要となる。

一方、色についてみると、茶色系と青色系との色の違いによる河床構成材料の違いは見られない。この色の違いは、むしろ水深に影響されたものとなっている。これに対して、白味がかった色を示す部分は、水面の状態を反映しているだけで、河床の状況は認識し難い。

このように、写真上で、波打った場や白味がかった場合は、早瀬であり、そうした場合は、河床構成材料を認識し難いので、特に現地確認調査で材料構成を把握する必要がある。

河床構成材料は、水深や水の透明度により見え方が異なる。水深が深い場合や透明度が低い場合には、可視光が河床まで到達しないので、河床構成材料は見にくくなる。従って、そうした箇所も現地調査が有力となる。

5. おわりに

本論文では、低高度空中写真による河川環境調査について検討した。この調査により、現場における多大な労力を軽減し、調査において、環境を乱すことを最小限に押さえながら安価で短時間に現地データを得ることが可能となり、河川環境の全体をマクロに捉えることができるようになる。

本調査では、①低高度の空中写真撮影、②撮影画像の地形データへの取り込みとテクスチャーマップの作成、③現地確認調査と環境ベースマップの作成を行う。これによって、河川植生、河川形態、瀬・淵、河床構成材料などの分布を把握することが可能となる。

ここでは、可視光のみを捉える通常のカラーフィルムによる撮影について論じたが、この他にも、可視光以外の波長を捉えるフィルム等を用いることで、別の環境情報を捉えることも可能となると考えられる。

しかしながら、本手法は現段階において十分に確立された手法ではない。それゆえに、テクスチャー類型化などの写真判読における個人差の解消や膨大な室内作業の緩和など、課題も多い。今後は、テクスチャーマップの作成の自動化などにより、それらの問題の解決に努めていきたい。

なお、本手法は、河川生態学術研究会多摩川研究グループの研究の一環として検討したものである。

参考文献

- 1) 岡積敏雄：ダムの弾力的管理の試行について～新たなニーズに対する既設ダムの有効活用～，月刊建設，2月号，pp. 12-14，1998.
- 2) 島谷幸宏：河川・湖沼の自然環境保全技術に関する現状と課題，土木学会誌，Vol. 83，No. 4，pp. 40-43，1998.
- 3) 藤田一郎，原基樹，森本貴生，大西努：PIV技術の実河川表面流計測への応用，第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp. 41-46，1998.
- 4) 例えば，小泉俊雄，村井俊治，小池俊雄，真鍋弘道：カイト気球を用いた空中写真撮影システムとその応用，写真測量とリモートセンシング，Vol. 25，No. 3，pp. 12-23，1986.
- 5) 武田浩幸，今村遼平：応用地学ノート，共立出版，pp. 334-340，1996.
- 6) 谷脇憲，大塚彰，堀川彰，雨宮悠：模型飛行機による簡単な空中写真撮影法の改良と農村景観解析のためのGIS構築事例，ランドスケープ研究，Vol. 59，No. 5，pp. 181-184，1996.
- 7) 例えば，長谷川均：リモートセンシングデータ解析の基礎，古今書院，pp. 9-44，1998.

(1999. 4. 26 受付)