

# ALB（航空レーザー測深）の河川測量への適用

小澤 淳眞・坂下 裕明・宮作 尚宏・下村 博之・蒲 恒太郎・川村 裕・岡部 貴之  
(株式会社パスコ)

## 1. はじめに

現在実施されている河川測量において、水底部の計測手法は、音響測深機による計測とロッド（目盛付きのポール）またはレッド（ワイヤーに錘を付けたもの）を用いた直接測定の大きく2種類に分類される。どちらの手法も船などを使って人が河川に入り測量を行うため、急流河川では作業に危険を伴う。また、河床形状の把握には高密度な地形データの取得が必要であるが、前述の計測方法で高密度なデータを取得する場合、多くのコストと時間がかかってしまうという問題点もある。

これらの問題に対し、海洋を中心に実施されてきたALB（航空レーザー測深）の河川測量への適用性について検討が始まっている。ALBは、航空機に搭載したレーザー測距装置から、水中を透過するグリーンレーザーと水面で反射する近赤外レーザーを同時に照射し、その時間差から水深を算出する（図1）。このため、急流河川でも人が河川に入ることなく安全な計測が可能である。また、面的に計測できるため高密度な地形データの取得が可能であり、河川測量に対して効果的な手法と考えられる。しかし、ALBを河川測量に適用するには、以下の大きな2つの問題点がある。

### ①ALBによる河川計測事例数

ALBの河川計測事例が国内外とも少なく、河床地形がどのように計測されるか不明確である。

### ②水質の影響

ALBは水質（透明度・透視度など）に大きく左右される。このため、海洋に比べ水質

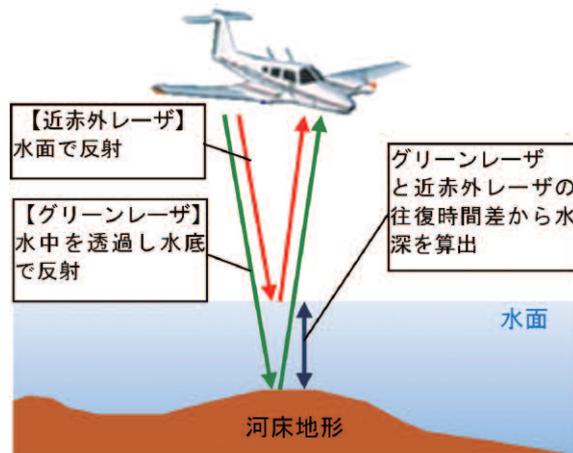


図1 ALB原理

が悪い河川ではデータの欠測割合が高いと予想される。

## 2. 研究目的

上記2つの問題点を解決するため、下記を目的として研究を実施した。

### 2.1 河川ALBデータの評価

国内の河川において実際にALBを実施し、河床地形がどのように計測されるかを評価する。

### 2.2 水質によるALB可否判定フローの構築

ALBデータが欠測した場所は、水質の状態が大幅に改善されない限り、再計測を行ってもデータが取得できる可能性は低い。このため、ALBデータの欠測箇所については別の機器で計測するのが現実的である。そこで本研究では、河川測量で効率的にALBの導入を図る1つの方法として、水質の影響によりALB

データが欠測する範囲を判定し、計測可能な範囲を予測する ALB 可否判定フローを構築する。

表 2 に示す。なお、ALB 機器については LADS Mk-III と VQ-820-G の 2 台を飛行機に

### 3. 実施方法

#### 3.1 河川 ALB データの評価

##### 3.1.1 ALB による国内河川計測

ALB で河床が計測可能と予想される水質が良好(年平均透視度\*が 80cm 以上)な河川のうち、吉野川(徳島県)、揖保川(兵庫県)、千代川(鳥取県)の計測を実施した。使用した ALB 機器の仕様を表 1 に、ALB 実施箇所を図 2 に、計測諸元を

表 1 ALB 機器仕様

機器名	LADS Mk-III	VQ-820-G
メーカー	Fugro LADS	RIEGL
レーザ波長	532nm	532nm
レーザパルス周波数	1,500Hz	200,000Hz
測深範囲	~80m	~10m
最大測深深度	透明度の 2.5 倍	透明度の 1 倍
$n = K \times D_{max}$	3	1

表 2 国内 3 河川の ALB 諸元

計測地域	ALB 実施日	ALB 飛行コース数	飛行高度	計測区間 (KP)
千代川	2013 年 8 月 29 日	5	790m	20K000~22K400
		7	790m	15K600~18K000
揖保川	2013 年 10 月 21 日	12	790m	9K400~16K000
吉野川	2013 年 10 月 22 日	9	610m	14K000~18K600
	2013 年 11 月 6 日	11	610m	6K400~11K600

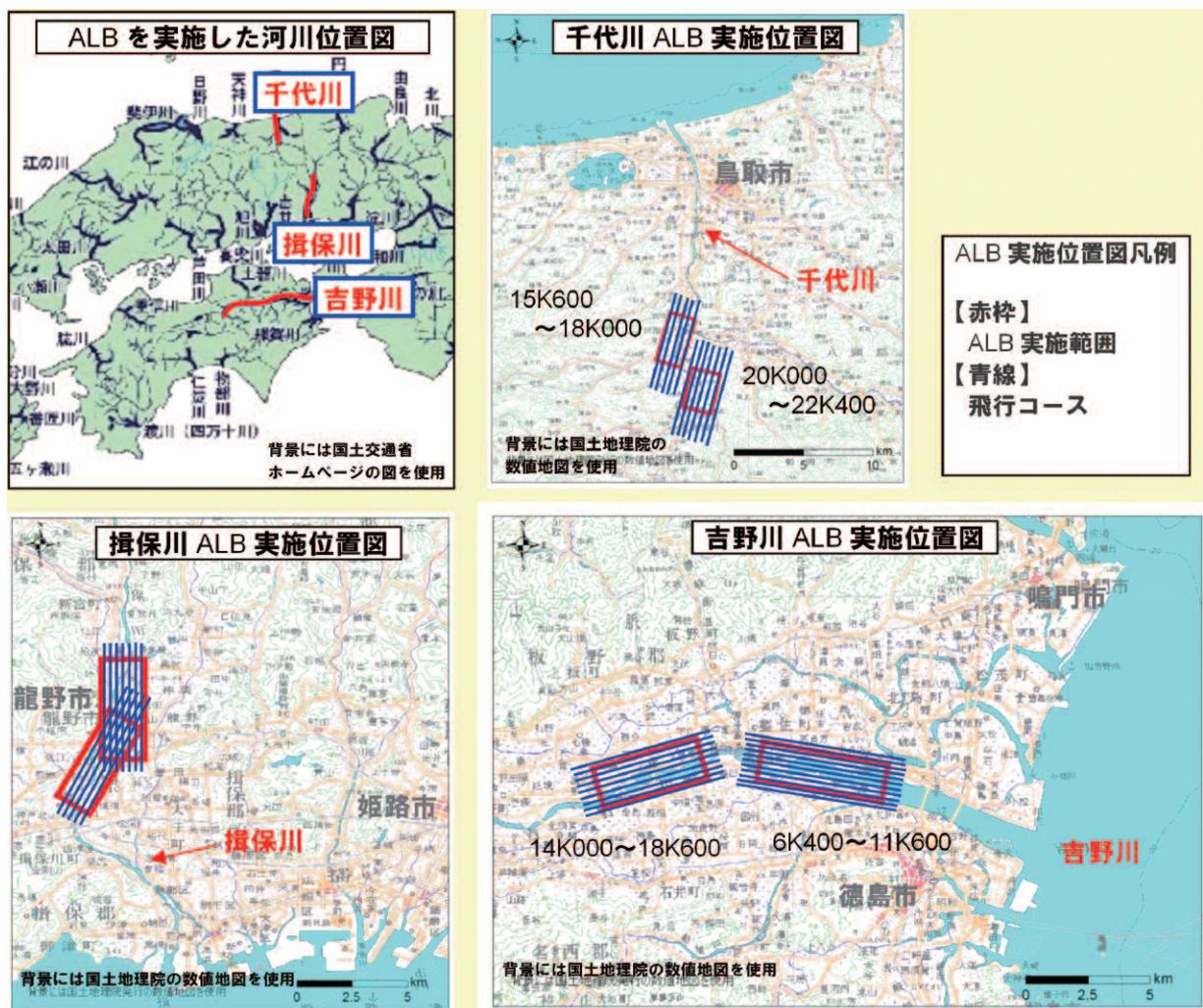


図 2 ALB 実施箇所図

搭載し、同時計測を行った。

※透視度：水の濁りを表す指標で、水を入れた透視度計（透明な柱状容器の底に二重線が描かれた標識板を置いたもの）の標識板の二重線が識別できる水面の高さの値

### 3.2 水質による ALB 可否判定フローの構築

#### 3.2.1 ALB 可否判定に使用する水質指標の検討

水質による ALB 可否判定フローの構築にあたり、可否判定に使用する水質指標の検討を行った。ここでは、まず、ALB 機器の最大測深深度 (Dmax) に注目した。メーカーの技術資料等から Dmax は透明度、拡散消散係数 (K 値) と関連性があることが分かっている。透明度と K 値について、以下に説明を行う。

##### (1) 透明度

透明度は水の透明性を示す指標であり、値

が大きいほど水が透明であることを意味する。透明度の測定は、透明度板と呼ばれる直径 30cm の白板を徐々に水中に沈め、透明度板が目視で確認できる限界の深さをその値とする。透明度の測定は比較的簡易にできるが、目視による測定のため、気象条件や波などの水面の状況等により測定誤差が大きくなる可能性がある。

##### (2) K 値

K 値は物質による光の散乱、吸収度合を示す指標であり、その値が低いほど散乱、吸収の割合が小さく、水の透明性が高いことを示す。通常、K 値は光量子センサーと呼ばれる測器で複数の水深の光のエネルギーを測定し (図 3、図 4)、その測定結果から値を算出する。K 値は透明度に比べると算出に時間はかかるが、測定誤差を小さくすることができる。

以上により、本研究では、測定誤差の小さい K 値を使い ALB 可否判定フローを構築することとした。



図 3 光量子測定機器



図 4 光量子測定の様子

#### 3.2.2 提案フロー

今回提案する ALB 可否判定フローを図 5 に

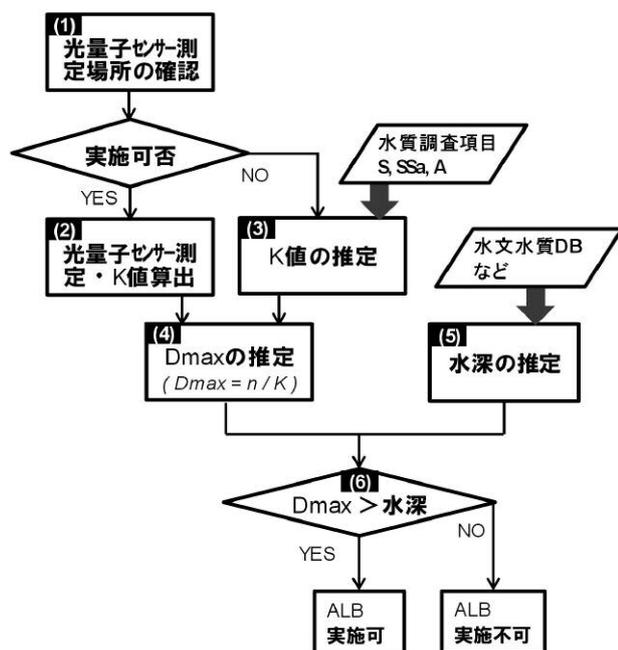


図 5 ALB 可否判定フロー

示す。また、各項目の説明を以下に記述する。

(1) 光量子センサー測定場所の確認

河川で光量子センサーによる測定を行う場合、水深の影響や地形的な制約等で実施できない場合がある。そこで ALB 対象範囲において、光量子センサーを使った測定の実施可否について確認を行う。

(2) 光量子センサー測定・K 値算出

光量子センサーを使った測定が実施可能と判断された場合には、現地で測定を行い、取得されたデータから K 値を算出する。

(3) K 値の推定

光量子センサーによる測定が実施不可能と判断された場合について、本研究では、K 値以外の水質観測項目から K 値を推定する手法を構築した(「3.2.3 K 値推定式の構築」を参照)。光量子センサーの測定ができない場合は、この推定式を使い K 値を算出する。

(4) Dmax の推定

Dmax と K 値には下記の関係がある。

$$K \times D_{max} = n \quad (式1)$$

ここで n は測深能力を表す定数で、通常メーカーから公表されている。この関係式を使い、K 値から Dmax を推定する。

(5) 水深の推定

水文水質 DB 等のデータを使い、現況の水深を推定する。

(6) ALB 可否判定

推定された Dmax と水深の値を比較し、ALB が実施可能かどうかを判定する。

3.2.3 K 値推定式の構築

既往の研究<sup>1)</sup>から、海洋では水中に含まれる懸濁物質 (S, SSa) と有色溶存物質 (A) を用いて K 値を推定する式が提案されている(式2)。式2の  $\alpha \times A$  は光の吸収による影響を、 $\beta \times (S + SSa)$  は光の拡散による影響を表しており、水中で光が減衰する過程に基づ



図6 水質測定を実施した河川

表3 懸濁物質 (S, SSa) と有色溶存物質 (A) の測定方法

測定項目	測定方法
1 μm 以上の懸濁物質 (S)	採水後 1 μm フィルターで 1 ℓ (または 500ml) ろ過して補足を検体とし、質量を測定する。
1 μm 未満の懸濁物質 (SSa)	上記(S)ろ過水 500ml (または 300ml) を 0.2 μm フィルターでろ過して補足を検体とし、質量を測定する。
有色溶存物質 (A)	上記(SSa)ろ過水のうち 100ml を検体とし、分光光度計で測定を行う。

いた推定式である。このため、式2は海洋だけでなく、河川や湖沼等の一般的な水域でも成立すると考えられる。そこで、本研究では K 値の推定に式2を適用することとした。

$$K = \alpha \times A + \beta \times (S + SSa) + \gamma \quad (式2)$$

ここで、

K : K 値

A : 有色溶存物質から求まる吸収係数  
(単位:  $m^{-1}$ )

S : 懸濁物質 (大きさ 1 μm 以上) から求まる散乱係数 (単位: mg/L)

SSa : 懸濁物質 (大きさ 1 μm 未満) から求まる散乱係数 (単位: mg/L)

$\alpha, \beta, \gamma$  : 調査結果から算出するパラメータである。

推定式の構築には、式2の  $\alpha, \beta, \gamma$  の3パラメータを算出する必要がある。本研究で

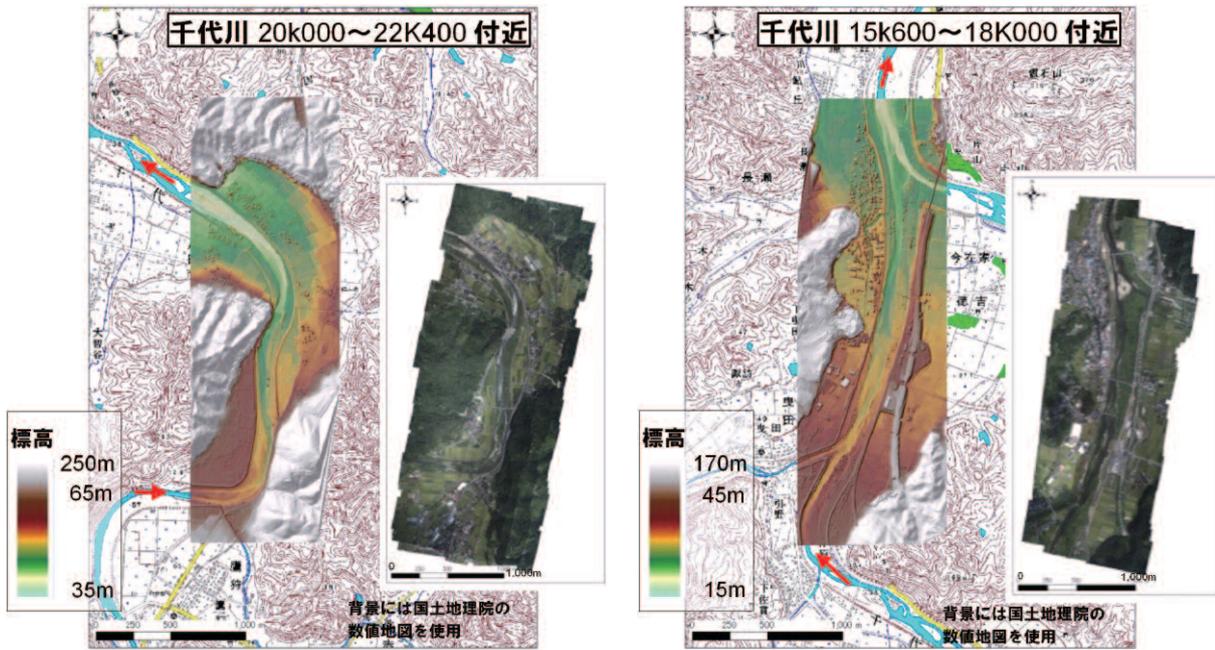


図7 千代川 ALB 結果（右側の写真は同時撮影した写真を基に作成したモザイク画像。赤矢印は流下方向を示す。）

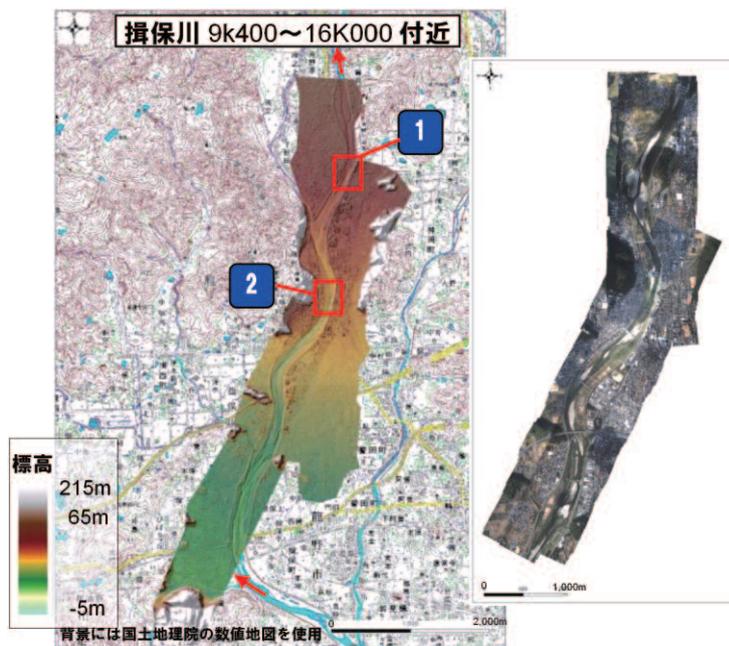


図8 揖保川 ALB 結果（右側の写真は同時撮影した写真を基に作成したモザイク画像。赤矢印は流下方向を示す。）

は、図6に示す国内の7河川（鉏路川、夕張川、最上川、利根川、揖保川、吉野川、筑後川）で光量子、S、SSa、Aの測定を実施し、得られたデータから回帰分析により3パラメータの値を決定した。S、SSa、Aの測定方法を表3に示す。

## 4. 結果と考察

### 4.1 河川 ALB データの評価

#### 4.1.1 ALB による河川計測結果（全体）

図2に示した3河川のALB結果を図7～図9に示す。これらの図は、ALBデータから2mグリッドデータを作成し、標高陰影段彩図で表現したものである。

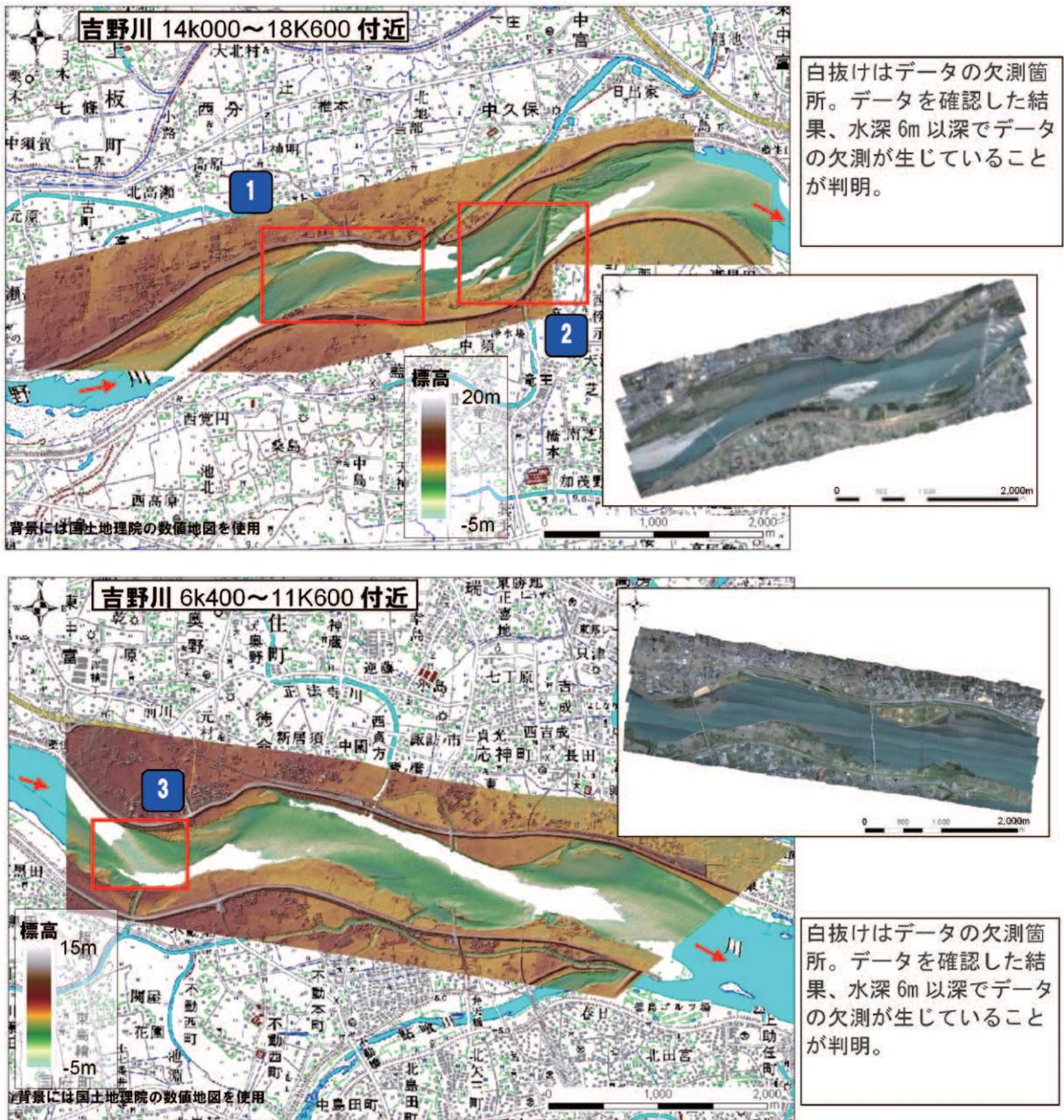


図9 吉野川 ALB 結果 (右側の写真は同時撮影した写真を基に作成したモザイク画像。赤矢印は流下方向を示す。)

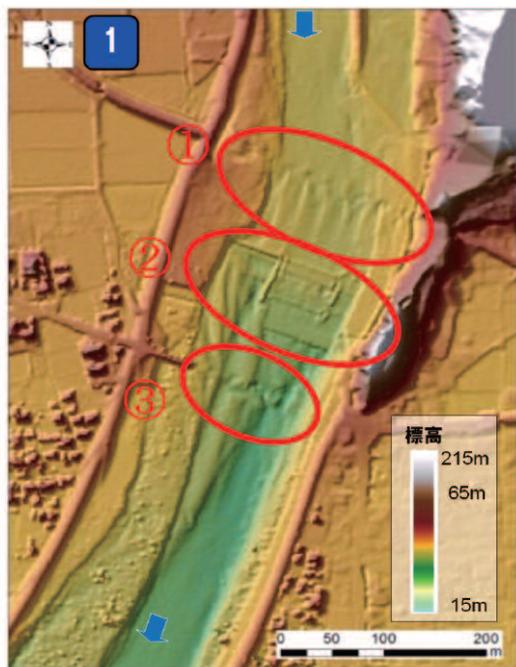
図7、図8に注目すると、千代川、掛保川は全計測範囲で河床のデータが取得できていることが分かる。一方、吉野川については、水深6m以深でデータの欠測がみられた(図9)。

#### 4.1.2 ALB による河川計測結果 (詳細)

図10、図11は掛保川の2か所(図8の1、2)を拡大表示したものである。

図10において、赤丸1、赤丸3部分には橋が架かっており、水中には橋脚が存在する。標高陰影段彩図に注目すると、橋脚部分で河床が洗掘されているのが確認できる。また、赤丸2の部分には堰が存在するが、その下流側の河床が人工物で被覆されている様子も確認できる。

図11の赤丸1は堰付近の河床データ、赤丸2は橋脚部分の河床データであるが、図10の



①～③付近の同時撮影した航空写真



①付近の同時撮影した航空写真



図 10 損保川 ALB 結果詳細図 1

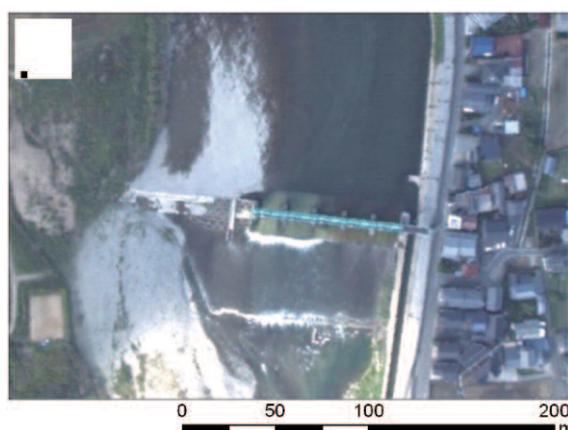


図 11 損保川 ALB 結果詳細図 2

場合と同様に詳細な河床地形が表現できているのが分かる。

図 12～図 14 は吉野川の 3 か所（図 9 の 1～3）を拡大表示したものである。

図 12 の標高陰影段彩図において、橋梁付近の河床に注目すると、橋脚部分の洗掘が確認できる。その下のグラフは、図中 A1 - A2 の断面図である。この図によれば、洗掘の深さは約 50cm であることが分かる。

図 13 は吉野川にある第十堰付近の河床データであるが、堰周辺の堆砂状況を鮮明に確

認することができる。

図 14 は、図 9 の 3 の範囲における河床データに対してウェーブレット解析を行い、微小な地形を強調させた図である。ウェーブレット解析に関する内容に関しては参考文献<sup>2)</sup>を参照されたい。この図を見ると魚の鱗のような模様が確認できるが、これは河床波と呼ばれるもので、水の流れと土砂の相互作用によって生成される河床地形である。B1 - B2 部分の断面図からは、河床波は長さが約 20m、高さが 50cm～1 m の規則的な形状であること

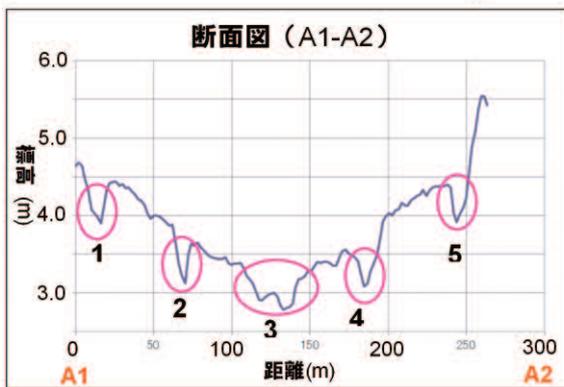
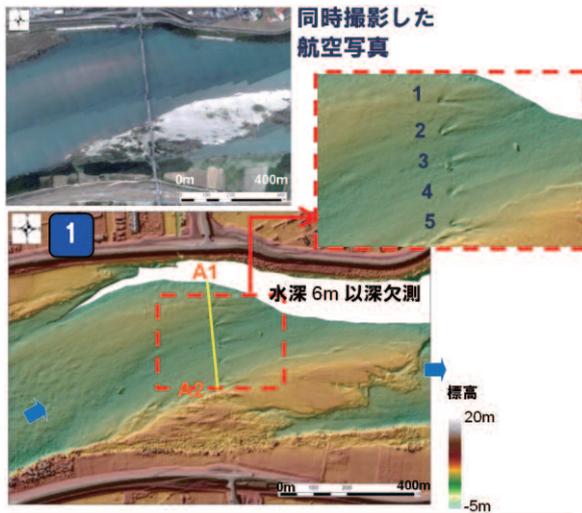
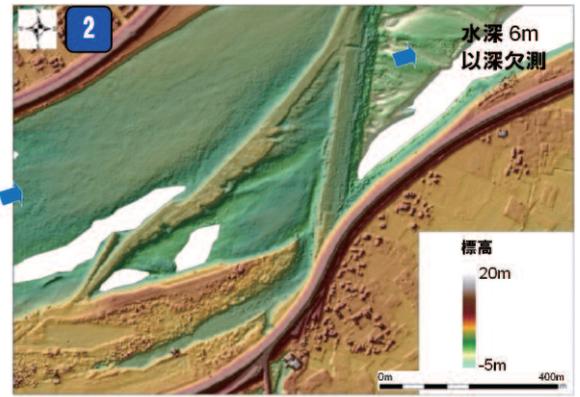


図 12 吉野川 ALB 結果詳細図 1



同時撮影した航空写真（第十堰付近）



図 13 吉野川 ALB 結果詳細図 2

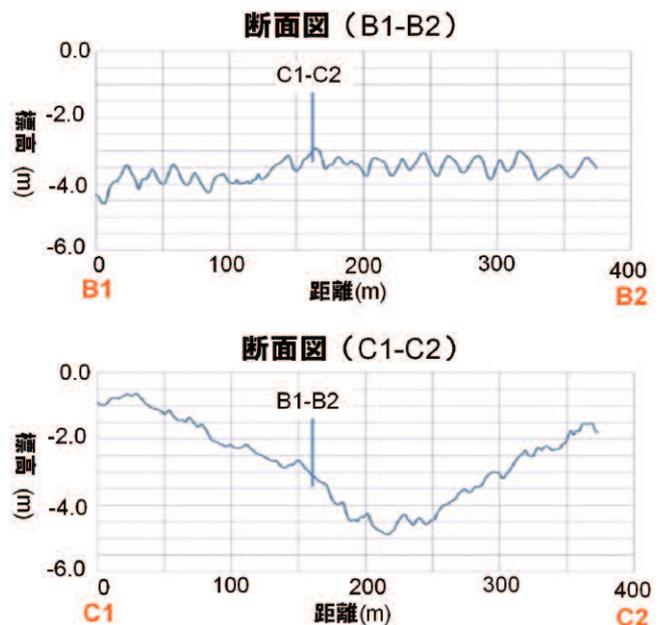
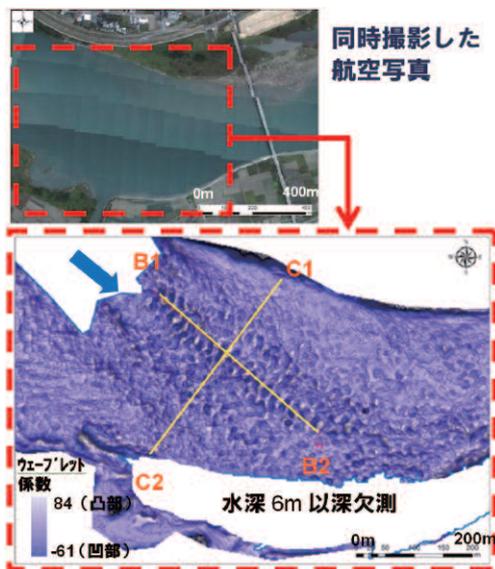


図 14 吉野川 ALB 結果詳細図 3

が分かる。また、C1 - C2 部分の断面図から、河床波が発達しているのは左岸から約 150m

付近の河床であることが確認できる。

## 4.2 水質による ALB 可否判定フローの構築

### 4.2.1 提案フローの運用について

図5の水質による ALB 可否判定フローの運用に際し、光量子センサー測定・K 値算出、K 値の推定、Dmax の推定、水深の推定の各項目における実施方法を以下に示す。

#### (1) 光量子センサー測定・K 値算出

図15は光量子センサーで測定した結果の一例で、縦軸は水深、横軸の対数軸は光量子センサーの測定値である。一般に水中を進む光の強度は、下式の通り指数関数的に減衰する。

$$I_z = I_0 \times \exp(-K \times z) \quad (\text{式 3})$$

ここで、

$I_z$  : 水深  $z$  での光の強度

$I_0$  : 水面での光の強度

$K$  : K 値

$z$  : 水深

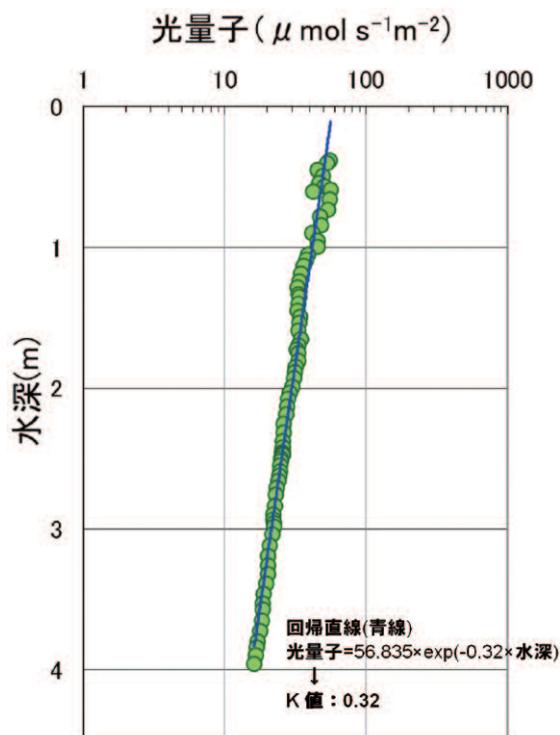


図15 光量子センサー測定結果の一例

である。

式3から、K 値は図15の測定データの傾きに対応する。そこで、データから回帰直線を求め、その傾きを K 値とする。

#### (2) K 値の推定

式2に対して、国内7河川の水質測定結果から回帰分析を行い、K 値推定式を求めた。ただし、S+SSa が 40mg/L 以上の場合、水質測定結果と K 値に相関がみられなかった。このため今回は、S+SSa が 40mg/L 未満の場合について、95 個の水質測定データから K 値推定式を構築した(表4)。光量子センサー測定ができない場合には、この推定式により K 値を算出する。

#### (3) Dmax の推定

前述の通り、Dmax の推定には式1を用いる。ここで、式1の  $n$  の値は、通常、河床の光の反射率を 15%程度と仮定した値である。このため、対象地域の河床の反射率が 15%から大きく異なる場合は、推定精度が悪くなる可能性があり、ALB 実施前に対象地域の河床の状況を確認することが望ましい。

#### (4) 水深の推定

水深の推定には、下記の方法が考えられる。対象地域の状況を考慮し、適切な方法を選択して水深の推定を行う。

- ・水位観測所のリアルタイム水位に合致するように不等流計算を実施し、計算水位と河床高から河川全体の水深を推定する。
- ・2箇所以上の水位観測所のリアルタイム水位から線形補間を実施し、補間水位と河床高から河川全体の水深を推定する。
- ・河道内に設置された尺標や現地調査などから水位を観測し、河床高から水深を推定する。

表4 K 値推定式

S + SSa	K 値推定式	相関係数
40.0mg/L 未満	$K = 0.4680 \times A + 0.0051 \times (S+SSa) + 0.3318$	0.83

#### 4.2.2 K 値推定式の検証

表4の推定式より求めたK値(推定K値)と、光量子センサーの測定結果から式3を用いて算出したK値(測定K値)との比較を行った。比較結果を図16に示す。図16は、縦軸に推定K値と測定K値の差(推定K値-測定K値)を、横軸にS+SSaを取った図である。これによれば、推定K値と測定K値との差は、概ね+1~-1の範囲に収まっており、ばらつきが小さいことが確認できる。

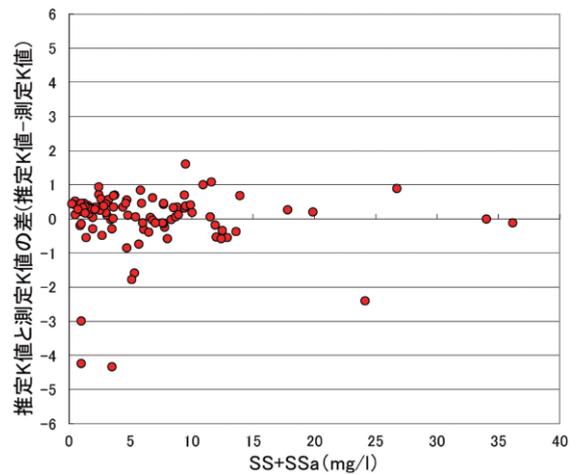


図16 推定K値と測定K値の差

### 5. まとめと課題

国内河川でALBを実施し、計測データの評価を行った。その結果、面的に詳細な河床の地形データが取得可能であり、ALBの河川への適用が有効であることが確認できた。

さらに、水質によるALB欠測範囲を予測するALB可否判定フローを構築した。この際、現地での光量子センサーによる測定ができない場合も考慮し、S、SSa、AからK値を推定する式を構築した。推定式の精度評価を行った結果、S+SSaが40mg/L未満の場合、概ね+1~-1の誤差でK値の推定が可能であることが確認された。

今後は河川におけるALB事例を増やし、K値推定式の精度をさらに向上させることが重要であるとともに、水文水質DB等の既存データから高精度にK値を推定する手法の開発も必要である。また、今回は位置精度に関する評価を実施できなかったが、ALBと同期を取った深浅測量等により真値データを取得し、ALBデータの位置精度評価を行うことも不可欠である。

### 6. 謝辞

本研究は平成23年度~25年度に実施した国土技術政策総合研究所「河川縦横断測量を高度化、効率化するための航空機レーザー計測

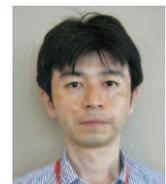
適用に関する研究」の成果の一部である。ご支援を頂きました各機関の皆様に、この場を借りて感謝申し上げます。

#### ■参考文献

- 1) Y.Wakui, I. Asanuma, X.Zhang, "A new algorithm for classification of water types based on the relationship between in-situ downwelling irradiance and in-situ CDOM, SS in complex waters of the Tokyo Bay", Ocean Sciences Meeting, 2012
- 2) 藤澤和範、笠井美青、“地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案)”, 土木研究所資料, pp.11-15, 2009

#### ■執筆者

小澤 淳真 (おざわ あつまさ)  
株式会社パスコ 研究開発本部  
aatwsa1813@pasco.co.jp



#### (共著者)

坂下 裕明 (さかした ひろあき)  
株式会社パスコ 研究開発本部

宮作 尚宏 (みやさく なおひろ)  
株式会社パスコ センシング技術部

**下村 博之**（しもむら ひろゆき）

株式会社パスコ 中央事業部

**蒲 恒太郎**（かば こうたろう）

株式会社パスコ 環境文化事業部

**川村 裕**（かわむら ゆたか）

株式会社パスコ センシング技術部

**岡部 貴之**（おかべ たかゆき）

株式会社パスコ 中央事業部