

U A V を利用した新しい調査手法とその活用事例

(株) テイコク・テクノ

G P S による自動航行や各種カメラを搭載したU A V の利用は、これまで確認しづらかった状況や可視光では判別できなかった自然界の現象把握を可能にしつつある。このため、建設コンサルタントの分野でも新しい調査手法として様々な場面で活用され始めている。当社でも、災害発生箇所における被災状況の3 D 画像や植生分布調査への応用、あるいは熱赤外線カメラによる既設構造物劣化状況の判定や湿地帯での湧水エリアの判別など、各分野への活用を試行している。これらの結果から、U A V の利用は撮影画像の詳細な解析・分析により、調査成果に新たな付加価値を与える手法として大きな可能性を秘めることが分かった。

§ 1 . はじめに

最近、“ドローン”の名称で呼ばれることが多いU A V (Unmanned Aerial Vehicle) を様々な場面で活用する事例が多く紹介されるようになった。U A V とは、自律航行が可能な小型無人航空機で、複数のプロペラを持つことからマルチコプターとも呼ばれる。従来のラジコン機に比べて飛行の安全性が高く、プログラムによる定点及び広範囲の自律航行が可能なおうえ、一眼レフカメラやビデオカメラ、熱赤外線カメラ等を搭載し、空中から様々な観測を行うことができる。このような特徴から、建設コンサルタントの分野でも概略の地形測量や環境調査、構造物調査等への活用が始まっており、それらの成果はこれまでの調査手法の幅を大きく広げようとしている。

§ 2 . 保有するU A V の性能と利用方法

現在、(株) テイコク及び(株) テイコク・テクノで保有するU A V は計2機であり、それらの仕様と性能を表-1まとめる。

表-1. 保有するU A V の性能比較

機種名	SPIDER-T1	EAGLE-1
回転翼数(枚)	8	6
耐風速(m/sec)	15以下(運用時 Max6)	15以下(運用時 Max6)
飛行時間(分)	10~20(運用時 8)	5~10(運用時 5)
搭載可能重量(kg)	4.5	3.0
飛行範囲(m)	約 1,000	約 500
到達高度(m)	300	300
機体サイズ(m)	1×1	0.8×0.8



写真-1 SPIDER-T1



写真-2 EAGLE-1

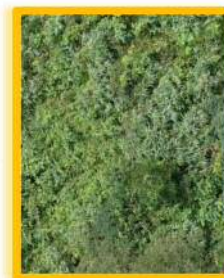
表-1 に示す各 U A V のうち、6 枚翼の” EAGLE-1” は機体サイズがやや小さく、また自重も比較的軽いため、主に風景写真や構造物への近接写真撮影等に使用している。これに対し、” SPIDER-T1” は翼数が 8 枚と多く大きな揚力が得られるため、重量な熱赤外線カメラを搭載する場合や耐風速が求められる場合、あるいは 1 回あたりの飛行可能時間を長く確保したい場合などに利用している。

§ 3. U A V を用いた新しい調査手法活用事例

(1) 写真画像判読による植生分類調査への活用

湖岸や河川、水辺等における植生調査では、一般に調査員によるフィールドでの群落調査と分布域の目視確認を基に植生図などが作成される。しかし、調査エリアが大規模であったり、植生分布が多様な地域では、調査コストの増大原因となる。本事例は、このような状況の補完と精度向上を図る目的で U A V の活用を試みたものである。河川沿いの植生調査範囲を対象に U A V による写真撮影を行い、複数の写真から作成したオルソ画像(写真-3)とフィールド調査の結果を基に植生図の作成が行われた(図-1)。撮影高度 75m からの写真画像の地上解像度は 2~5cm と高いため植生の確認は十分可能であり、フィールドでの調査結果と照合しながら図-2 に示すような現存の植生図が作成された。

写真-3
撮影画像を用いた
オルソ画像の作成

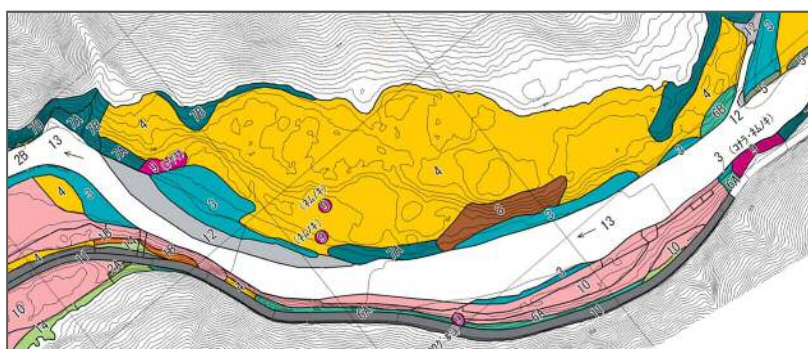


地上解像度
2~5cm

図-1
現地調査結果との
照合による植生分
類



図-2
植生分類図の作成



（２）災害発生箇所における被災状況調査への活用

災害発生時には復旧対策に向け被災状況の迅速な把握が求められる。特に、応急対策が必要となる場合には、被災現場の横断地形、縦断地形の計測が不可欠であるが、被災地の状況によっては現地計測が難しい場合も多い。本事例は、洪水に伴って流出した橋梁や護岸の被災状況を、UAVによる撮影画像を用いた写真解析処理により、正射投影されたオルソ画像として発注者に提供したものである。

オルソ画像の作成には直線状に並んだ複数の写真が必要となるため、撮影に際しては事前のコース計画と標定点の設置が必要となる。写真解析では３次元の地形モデル（TINモデル）と写真画像のマッピングがなされているため、３次元オルソ画像として表現することもでき、被災状況を多方向から確認することが可能となる。

ここで、オルソ画像作成の経過と正射投影化されたオルソ画像の一例を写真-4～写真-6に示す。

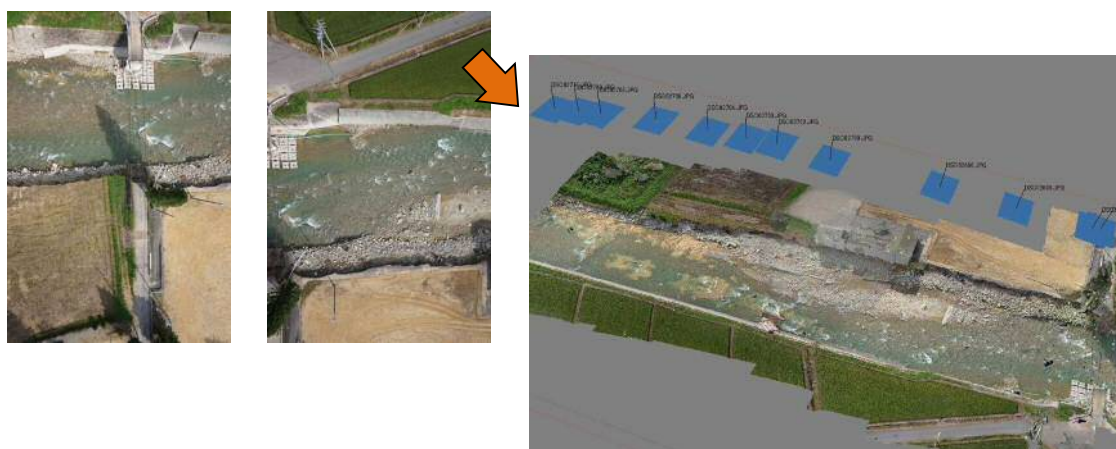


写真-4 UAV撮影画像による写真の正射投影化



写真-5 正射投影化されたオルソ画像



写真-6 オルソ画像による護岸被災状況

（３）３次元地形モデルによる河川横断図作成への活用

長良川等の大河川では 200m ごとに設けられた測線上において定期横断測量が実施されているが、それ以外の任意断面については必要に応じて現地測量を行い作成する必要がある。本事例は、岐阜大学が研究を進める長良川からの河川伏没量の推定に供するため、長良橋下流側約 1km 区間（写真-7）を対象に UAV を活用して 3 次元地形モデルを作成したものである。

河床表面には事前に多数の標定点の設置を行った（図-3）。また、撮影はあらかじめ計画した飛行コースに基づく自動航行で行っており、写真間のオーバーラップ 70～80%、サイドラップ 40%にて連続撮影を行った。



写真-7 3次元モデル作成区間（長良橋下流）

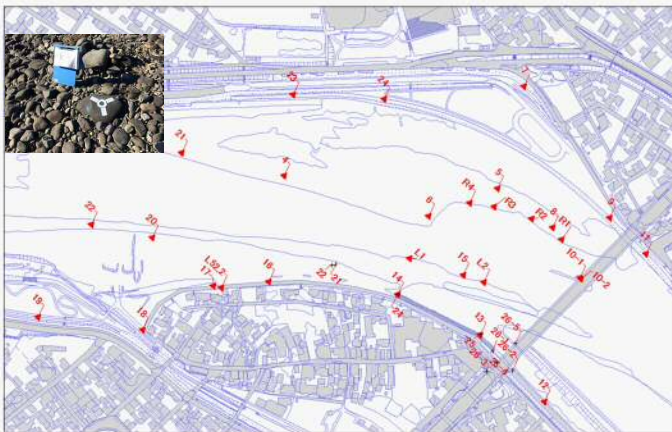


図-3 撮影区間に設置した標定点配置

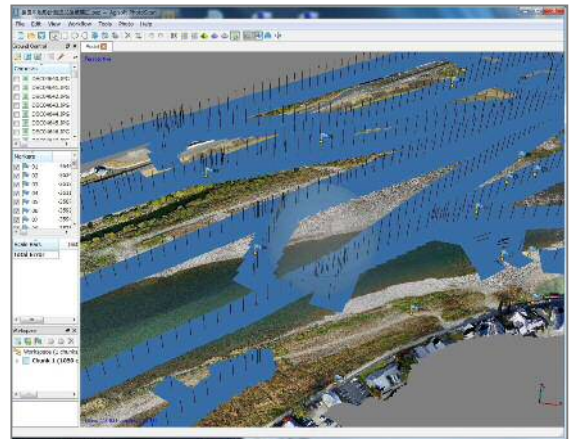


図-4 UAV撮影画像による写真の解析処理

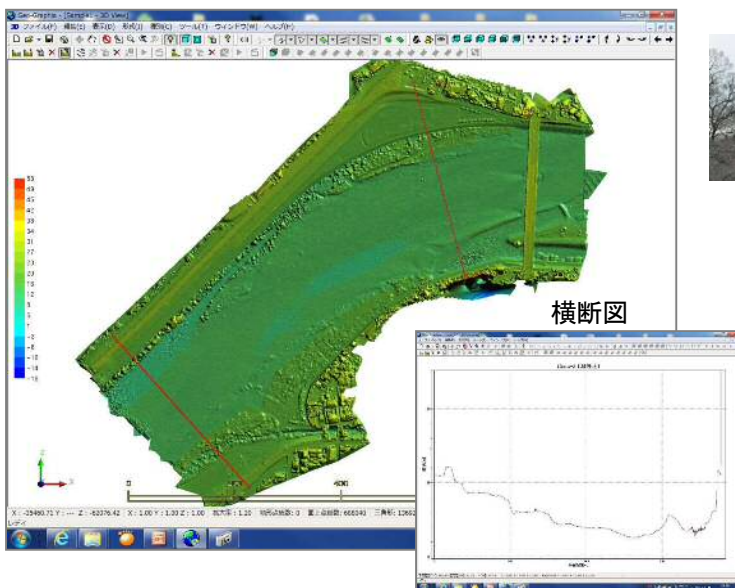


図-5 作成された3次元モデルと任意の河川横断図

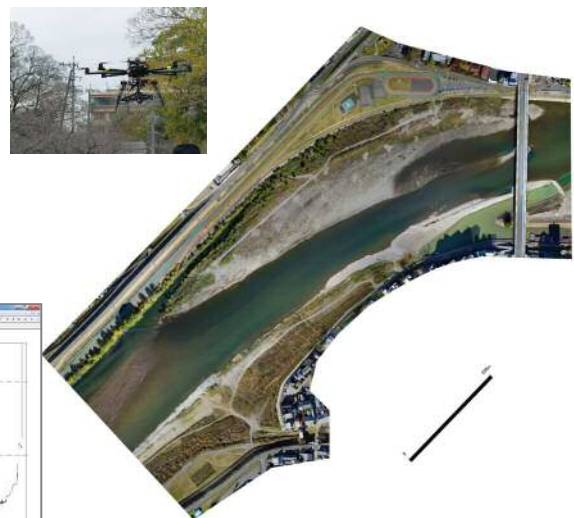


写真-8 作成されたオルソ画像（地上解像度 5cm）

写真解析処理については、自動交点処理→バンドル法調整計算→交点座標の作成→T I Nモデルの作成の画像解析手順を経て（図-4）3次元地形モデル（図5）を作成し、任意の河川横断の推定に供した。また、成果として得られたオルソ画像（写真-8）は、解像度が5cm程度と高いため、河床に堆積する砂礫の礫径判別にも応用できる可能性がある。

（4）法面表面温度の変化によるモルタル吹き付け法面評価への活用

道路や鉄道あるいはダムなどの切土法面に多くみられるモルタル吹き付け面健全度評価には、目視による表面観察や打音検査による調査手法が用いられている。このため、大規模な法面や近接観察ができない高位置の法面については、仮設や調査期間の増大によるコスト面での負担も大きくなる。本事例は、U A Vに装着した熱赤外線カメラ（写真-9）を用いて、モルタル吹き付け面内部の空隙の有無が法面表面温度の変化として現れる現象を観察し、健全度一次評価への活用を試みたものである。

保有する熱赤外線カメラの仕様を表-2に示す。

表-2. 保有する熱赤外線カメラの仕様

モデル	FLIR640
温度測定範囲	-40℃～2,000℃
温度分解能	<0.035℃（30℃の場合）
フォーカス	連続、マニュアル/オート（ワンショット）
解像度	640×480ピクセル
サイズ	143×196×94mm / 1.3kg（バッテリー含む）



写真-9 熱赤外線カメラ外観
（Model: FLIR640）

調査対象とした法面はダム建設に伴う切土法面で、施工後約30年を経過したものである（写真-10）。撮影は早朝時の気温上昇前と昼間の気温上昇時の2回行い、写真-9に示す熱赤外線カメラを装着したU A Vを自動航行により同位置まで誘導して行った。図-6は、法面の同一地点における温度変化を早朝と昼間の温度差分として算出し、温度差分画像として表現したものである。昼間の撮影画像において右側上部に見られる赤色部分は法面表面温度が大きく上昇した箇所であり、モルタル吹き付けと地盤との空隙部分の空気が太陽光によって暖められた結果と推定される。このため、早朝撮影画像との温度差分でも同エリアの温度変化が大きく示されており、モルタル吹き付け背面に空隙が生じている可能性が示唆された。



写真-10 調査対象法面のオルソ画像（高さ60m、幅100m）

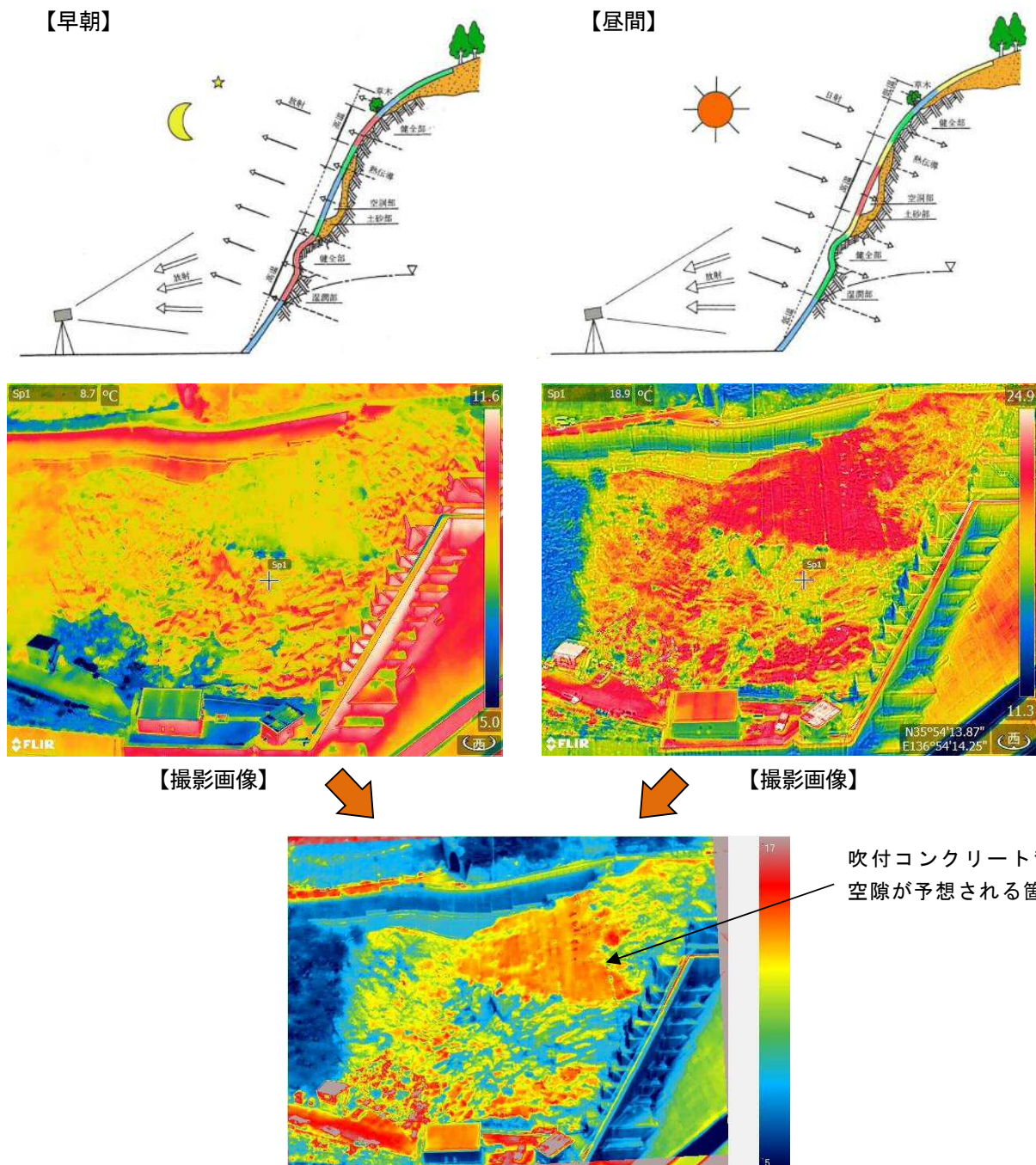


図-6 法面表面温度撮影結果と温度差分画像

(5) 湿地内地表面温度からみた湧水エリア把握への活用

東濃地域では地質構成上の特徴から湿地地形が随所にみられる。湿地内では所々で湧水が生じているため、流路に沿って湿潤な地盤が分布するとともに、湿地特有の植生が形成されている。本事例は、このような湿地内の植生調査を補助するため、熱赤外線カメラを用いて計測された地表面温度から、湿地内における湿潤地盤の分布把握を試みたものである。図-7は湿地上空から撮影した可視画像と熱赤外線画像を比較したものであるが、可視画像より判別できる樹木帯を中心に、周辺には地表温度の低い部分（青色部分）が確認でき、湧水から続く流路沿いに湿潤な地盤が形成されている状況を判読することができる。

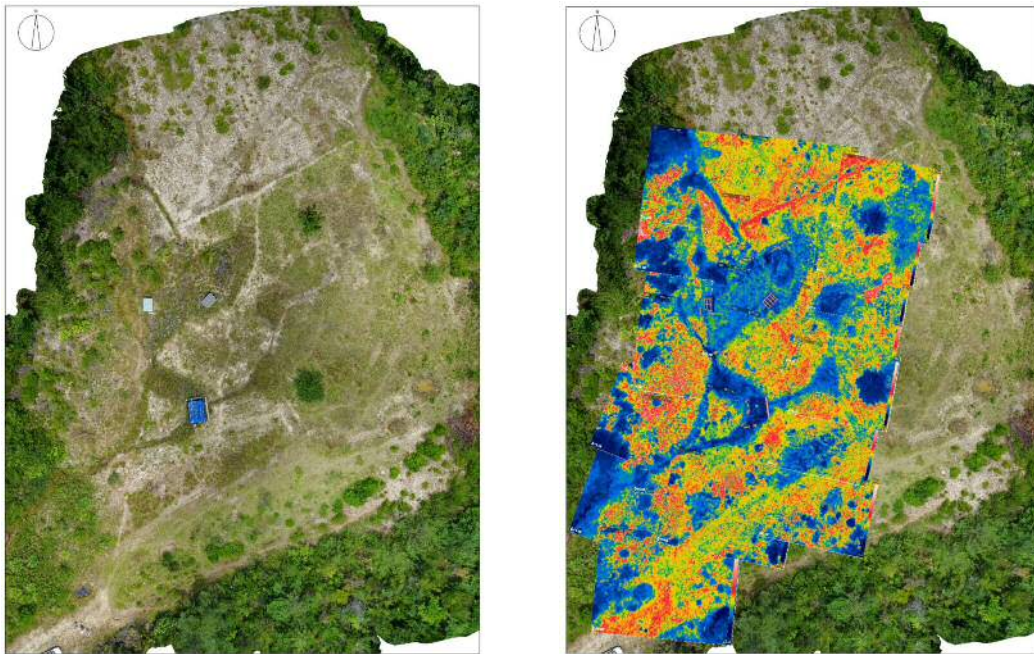


図-7 湿地上空から撮影した可視画像と熱赤外線画像の対比

（６）ＵＡＶビデオ映像を使った河川表面流速測定への活用

一般に、高水流量観測には浮子を用いた流量観測手法が用いられるが、近年、人員確保の問題や局所的な降雨等により洪水ピーク時の観測に間に合わないといった課題があり、浮子流量観測手法を代替・捕捉する観測技術が開発されてきている。本事例は、岐阜大学と共同で実施したもので、時空間輝度勾配法（ＳＴＩＶ法）と呼ばれる解析手法に、ＵＡＶビデオ映像を使用して河川表面流速の測定を試みたものである。ＳＴＩＶ法は、流れの主流方向に沿うように検査線を設置し、検査線上の輝度の時間変化を表す時空間画像上のパターンの傾きから平均流速を求める手法である。図-8に示すような流速測定範囲の上流側より流下させたトレーサー（木の葉）について、流向に沿う検査線上の流速をＳＴＩＶ解析により算出された結果を図-9に示す。水深が小さく底面摩擦の影響が強い右岸側では流速が小さいのに対し、水深が大きく主流が偏る左岸側では流速が大きい特徴が示されている。同解析手法は、画像処理により検査線上の表面流速を算出するため広範囲での流速分布を求めることが可能であり、今後、現場における実際の使用事例が多くなれば、非接触型の流量観測手法として活用される可能性がある。

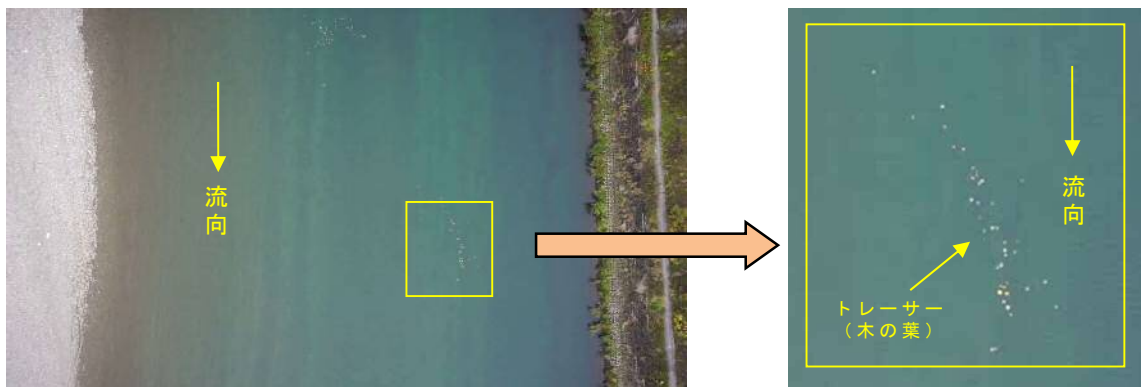


図-8 測定範囲上流部から流下させた木の葉を用いたトレーサー

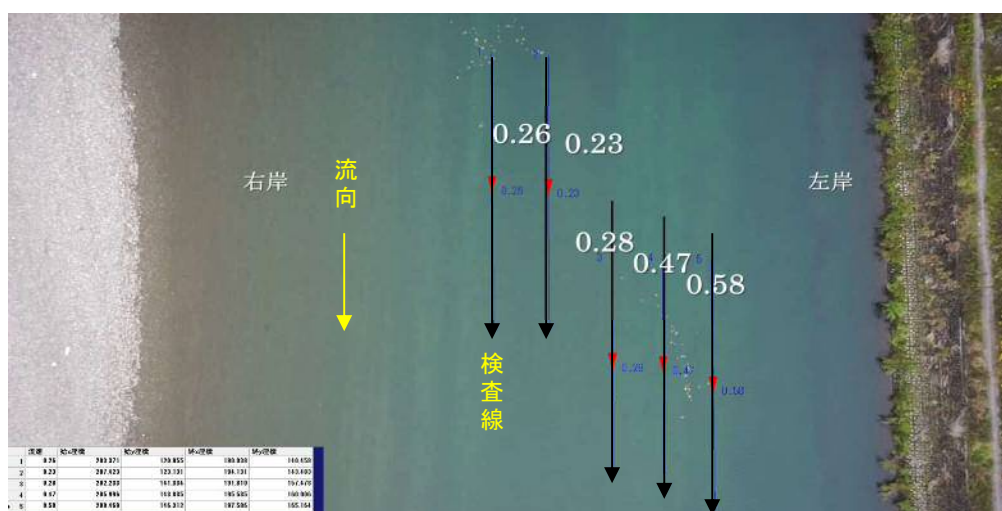


図-8 各トレーサーの検査線について解析された表面流速分布（単位：m/sec）

（7）その他の活用事例

再生可能エネルギー固定価格買取制度の実施により、全国的に設置件数が増加している太陽電池パネルであるが、設置場所の多様化と規模の拡大とともに今後の保守点検手法が課題になりつつある。正常に稼働中の太陽電池パネルの表面温度はほぼ一般的な分布を示すのに対し、異常が発生したパネルでは表面温度が上昇する傾向があるため（図-9）、保守点検には以前から熱赤外線カメラからが使用されてきた。本事例は、メガソーラーのような大規模施設における保守点検効率の向上を目的に、熱赤外線カメラとUAVの自動航行を活用したものである。

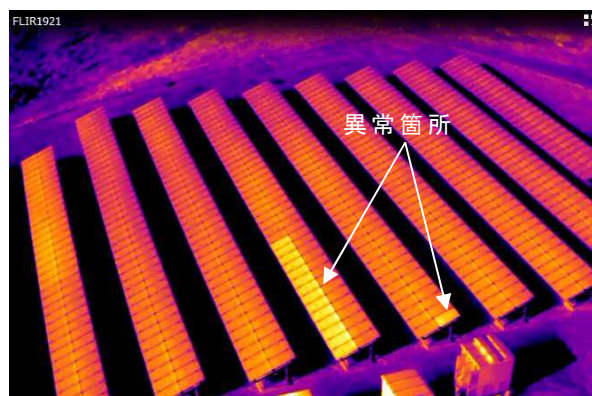


図-9 人為的に発生させた異常パネルの熱赤外線画像

§ 4. 今後の課題と将来展望

UAVの利活用が進むにつれて事故発生件数も増加傾向にあり、人口集中地区（DID地区）における飛行制限など、秩序ある利活用に向けたルール作りが始まっている。UAVの特徴を活かした様々な利用は今後ますます進むものと考えられるが、それに伴い、パイロットの飛行技術の向上と機体の維持管理の重要性はより高まると言える。また、建設コンサルタントの分野においても、写真撮影を中心とした従来の利用から、軽量で高精度な各種センサーを搭載した多目的な利用へと発展する可能性がある。得られた画像データ等の解析技術の向上と成果の活用法が今後の課題であろう。

§ 5. おわりに

UAVの小さな機体に秘められた可能性は大きく、利活用できる分野は多い。これまでの調査成果に更なる付加価値を持たせるためにも、引き続き新しい調査手法の開発にトライしていきたい。