

UAVを用いた空撮とその利用について

北野 幸宏¹

¹株式会社荒谷建設コンサルタント 計測情報システム部 地理情報課

弊社では、新たな取り組みの一環で災害調査、防災・点検分野への新技術の利活用を行うことを目的として、平成26年度よりUAVを導入し、撮影及び写真を用いた様々な解析を行っている。弊社が導入したUAVの諸元や社内運航規程に基づく作業、これまでの具体的な解析・活用事例並びに今後の展開について紹介する。

キーワード：運航規程、2次元オルソ接合画像、3次元モデルデータ、縦横断面図、地形図

1. はじめに

昨今、全国的に発生している豪雨や地震などの自然災害において、迅速な現地状況の把握は最も重要である。しかし、交通経路の寸断や危険が伴うことにより現地に人が近づけない場合が想定される。

昨年8月に発生した広島市の集中豪雨による土砂災害では、流木や土砂堆積により現地に立ち入れないケースが発生し、その際にUAVによる撮影調査を行う映像がテレビで紹介され、一躍注目を浴びた。

また、我々建設業界では橋梁や道路など膨大な公共土木構造物の効率的な維持管理が今後の課題となっているが、UAVを使用した点検（メンテナンス）を手法の一つとして本格的に導入する動きも活発になっている。

私が所属する測量・空間情報の分野でも空撮画像を用いた2次元、3次元地形図作成への利用が進んでいる状況であり、利活用の幅は徐々に広がっている。

2. UAVの概要

UAVとは、無人航空機の略称であり、操縦者が遠隔で操作し、飛行させるものを指す。当初は軍事用に開発されたものが主流であったが、現在では産業用としての利用が急速に進んでいる。機体は全幅30mを超える大型のものから、手の上に乗る小型のものまで様々な機体がある。

弊社では、全長0.8mのUAV（図-1）を2機所有しており、機体には市販のデジタルカメラを搭載し、撮影した画像を基に、写真測量や地形解析を行っている。表-1に弊社機体の仕様を記載する。



図-1 弊社所有UAVの外観

表-1 弊社所有UAVの仕様と規程（太字部）

飛行高度	最高で1000m程度 ※航空法では300m以下、弊社運航規程では150m以下に制限
飛行範囲	最大で半径1km程度 ※弊社運航規程では、概ね100m範囲内に制限
飛行速度	0～30km/h
飛行時間	最大で15分程度（バッテリー1個）
飛行可能風速	最大で10m/s程度 ※弊社運航規程では、5m/s以下に制限
積載可能重量	0～2.5kg（フライト時重量：5～7kg）
撮影機器	①デジタル一眼レフカメラ （静止画撮影：約1800万～2400万画素） ②デジタルビデオカメラ （動画撮影：約614万画素）
撮影形態	①静止画 ②動画（垂直【上下】方向、斜め方向【鳥瞰】撮影）
撮影操作	①手動 ②自動航行（プログラム制御）

3. UAVを用いた空撮のメリット

UAVによる撮影のメリットとしては、以下が挙げられる。

- (1)機体が小型であり、持ち運びが容易
- (2)省スペースでの離発着が可能
- (3)低空かつ構造物に接近した撮影が可能
- (4)災害地や危険区域など、人間の立ち入りが困難な場所への侵入が安全かつ容易
- (5)有人ヘリコプターや航空機と比較して低コストかつ短期間で撮影が可能
- (6)GPS誘導による自動航行が可能であり、同一ルートの複数回調査（経年変化の調査等）が可能

4. UAV運航規程（作業標準）の制定

弊社では、UAV運航規程を策定しており、飛行禁止条件や飛行禁止場所などについて取り決めている。国内では、現在アメリカやヨーロッパなどのUAV先進国に倣う形で策定に向けた動きが本格化しており、弊社ではこれまでの現地作業での経験も踏まえた内容で独自の運航規程を策定し、平成27年度より全社的にこの規程に則った運用を開始している。（図-2）

規定された条件を満たさない場所（例：住宅密集地での撮影、臨海付近などの常時強風となる箇所【5m/S以上】）等での撮影は原則禁止としている。

今後、国で進められている航空法の改正（ドローン規制法案）の動きも踏まえ、適宜改訂する予定である。

6. 損害賠償保険の加入	
タジコンヘリコプターによる作業（撮影）中の事故対応のため、損害賠償保険への加入を必須とする。なお、当社では、対人・対物賠償で賠償の範囲に加入している。	
外部に作業を委託する場合には、当社と同程度の保険加入を作業条件とする。	
7. 飛行禁止条件	
航空法で禁じられている区域以外であっても、以下に定める箇所については、いかなる自然及び地理的条件も満たしている場合でも飛行を禁止する。なお、飛行禁止条件の適用については、事前に現地調査を十分に行った上で、主任技術者が確認して管理技術者へ報告した後、最終決定する。	
(1) 飛行区域	
①住宅密集地	
②トンネル内	
③道路や橋が橋脚を直線型に不可能となる恐れのある箇所	
④タジコンヘリコプター操縦禁止の全ての区域	
⑤幹線道路、国道、県道、市道、河川	
⑥建設現場の近接となる箇所	
(2) 気象・気象等	
①電圧降下や電圧変動が中心から半径300m以内	
②気象用警報を使用している気象の予知（イベル）	
(3) 天候・気象等	
①上級風速（5m/S）以上の強風	
②雨天及び降雪時の撮影	
③極度の気温（0℃以下）及び高温（30℃以上）時	
④夜間（日没後から日の出前）の撮影	
⑤操縦者の体調不良下での撮影	
8. 作業実施体制	
タジコンヘリコプターによる作業実施体制は、以下の3名を体制とする。	
①主任技術者（操縦者）：1名	
②操縦者（撮影者）：1名	
③見守り員：1名	

図-2 弊社のUAV運航規程（抜粋）と定期点検リスト

5. 空撮データを利用した利活用方法

(1) 2次元オルソ接合画像

撮影した画像からオルソ接合画像を作成できる。最新の現況を把握できる情報として地元の説明資料等に利用可能である。また、地形図作成の際の基礎データとしても利用する。（図-3）



図-3 2次元オルソ接合画像

(2) 3次元モデルデータ

オルソ接合画像作成時に生成される点群データ（3次元座標）からTIN（不定形三角網）地形モデルを生成する。さらに、その地形モデルにオルソ接合画像を貼り付け、3次元モデルデータを生成する。（図-4.1、図-4.2）

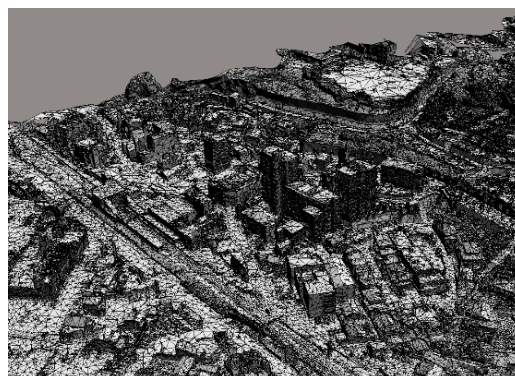


図-4.1 TIN地形モデル



図-4.2 3次元モデルデータ

(3) 縦横断面図の作成及び土砂量推定

作成した3次元地形モデルより、等高線図や縦横断面図の作成を行い、最終的に推定土砂量（崩壊，移動）を算出することが可能である。（図-5）

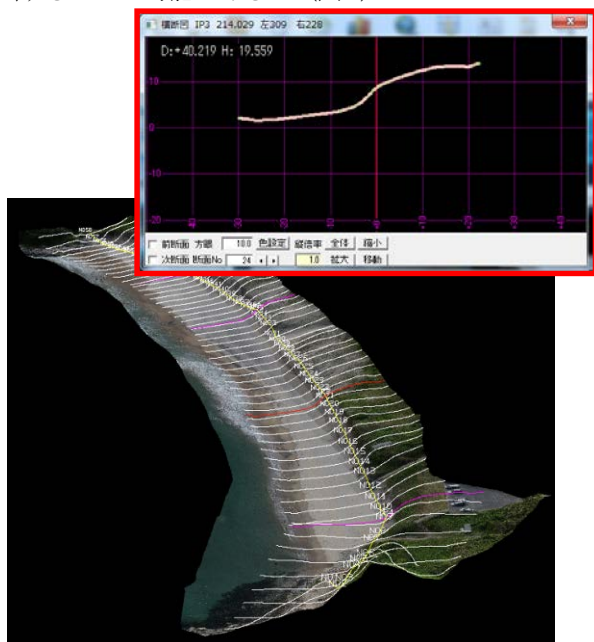


図-5 縦横断面図の作成と任意断面での横断面図切り出し

(4) 数値地形図の作成

2次元オルソ接合画像を基に、通常の航空写真測量の原理と同様に図化を行い、地形図を作成することができる。平面精度（誤差）については、弊社で検証を行い、平地部では、最大でも10cmの精度内に収まっている。これは、公共測量作業規程の数値図化レベル500（水平位置精度15cm以内）にも十分適用できる。（図-6）

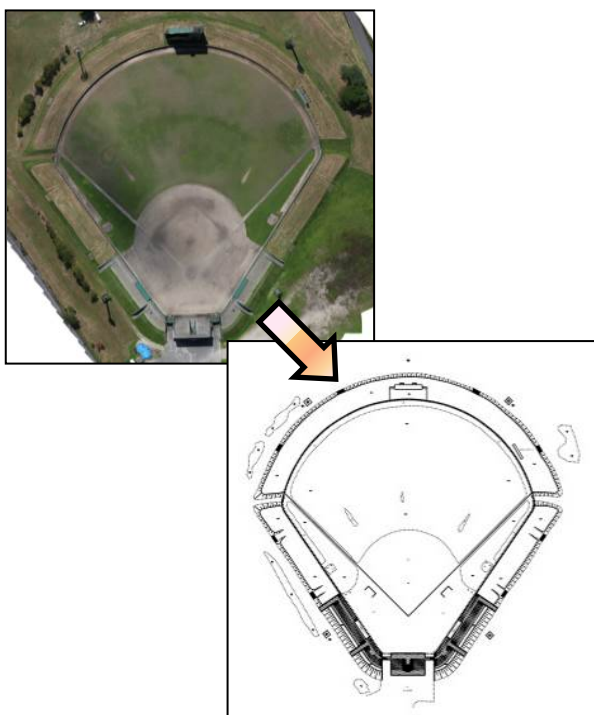


図-6 2次元オルソ接合画像より作成した数値地形図

6. 調査・解析事例

(1) 広島市豪雨災害（広島市，平成26年8月）

(a)作業の概要

災害発生後の8/31に、UAVによる空撮写真の撮影並びに標定点測量を実施した。撮影箇所は、安佐南区八木3丁目及び4丁目において合計5コース（垂直写真，斜め写真）実施した。（図-7.1，図-7.2，図-7.3）

外業（撮影，標定点測量）で1日，内業（解析処理）で3日，合計4日で作業を完了した。

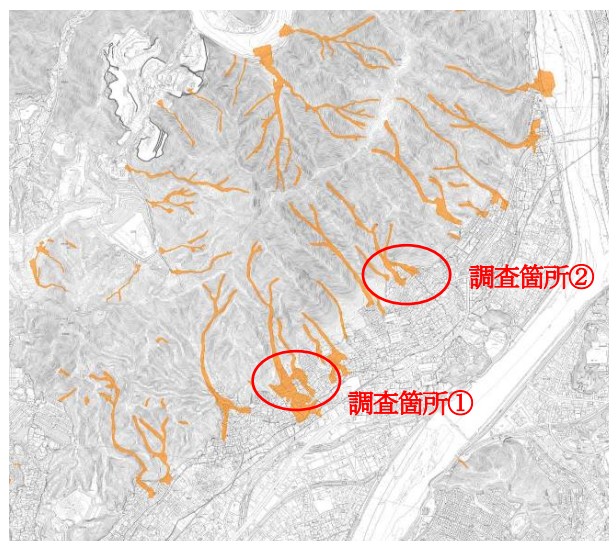


図-7.1 調査箇所図



図-7.2 調査箇所①周辺写真（地上写真，八木3丁目）



図-7.3 調査箇所②周辺写真（UAV斜め写真，八木4丁目）

(b)各種情報の生成

- ・2次元オルソ接合画像作成及び既存地形図との合成
作成したオルソ接合画像と自治体が所有する数値地形図（縮尺1：2500）を合成し、被災前後での家屋が流出した箇所並びに被災状況（全壊または損壊）を視覚的に判読が容易となる図面を作成した。（図-8）

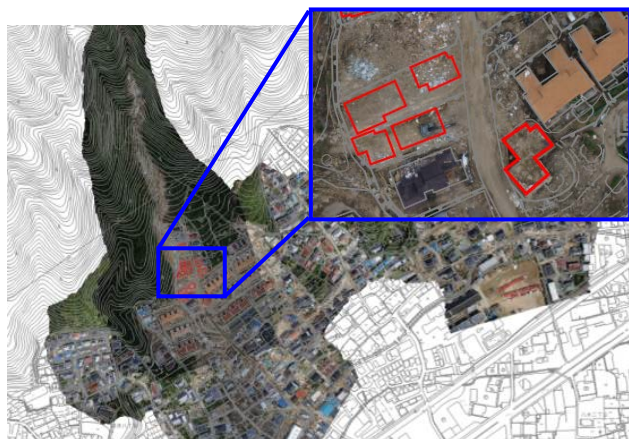


図-8 2次元オルソ接合画像とDM地形図
（S=1：2500）の合成画像

・3次元モデルの生成

八木3丁目（県営緑ヶ丘住宅付近）において、撮影した写真データから3次元モデルの生成を行った。高解像度の写真データを用いることにより、現地の地形が詳細に表現されている。（図-9）



図-9 3次元モデルデータ（八木3丁目）

(2) 地表面段彩図作成（鳥取県境港市，平成26年9月）

各教育施設や公共施設（スポーツ公園等）のグラウンドでは児童・学生及び利用者の怪我を防ぐ目的で、定期的に整地作業が実施されているが、各自治体とも費用の捻出に苦慮している実状がある。特に、昨今の集中豪雨等により、地表面が洗掘される頻度が高まると共に、凹凸が激しいものとなっている。

そこで、UAVで取得可能な標高情報を基に、机上での差分抽出を行い、視覚的に凹凸が激しくなっている箇所が分かる段彩図を作成した。（図-10）

なお、事後標定用としてGPS（RTK-VRS）測量を同時に実施しており、標定点にてUAVの画像データ解析により生成した標高情報と比較したところ、最大で約4cmの誤差という結果となった。これは、作業場所の周辺に障害となる物（木や建物）が無いことや標高差のない比較的平坦な地形であるといった好条件下によるものと考えられる。

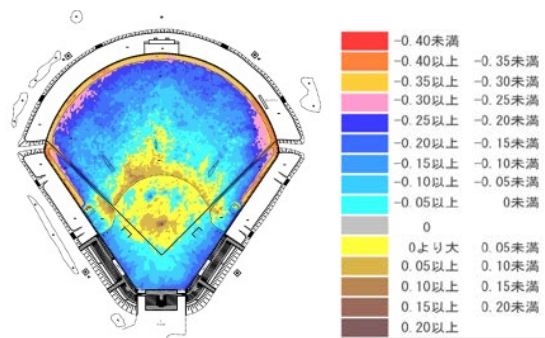


図-10 地表面段彩図作成

(3) 数値地形図作成（鳥取県琴浦町，平成26年11月）

小規模な新規住宅団地においてUAVによる空撮を行い、2次元オルソ接合画像をトレースして数値地形図の作成並びに既存の下水道平面図（S=1：500）の更新作業を行った。（図-11）

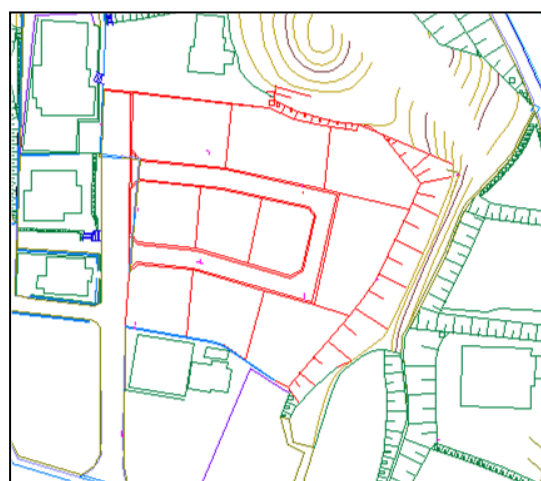


図-11 数値地形図の作成（赤線部分が新規図化部分）

(4) 国道182号線法面崩壊調査（福山市，平成27年7月）

(a)作業の概要

国道182号線（福山市加茂町百谷）にて7/23に大規模な法面崩壊が発生した。

被害の規模を把握するため、同日に現地入りし、災害全容を把握するための斜め写真や平面図作成のための垂直写真撮影、標定点測量を実施した。なお、作業は7/29、8/18を含め計3回実施した。（図-12.1，図-12.2）

成果としては、2次元オルソ接合画像、斜め写真、平面図（ $S=1:500$ ），縦横断面図の資料を作成した。斜め写真は即日提供、その他の資料については作業日を含め概ね2日以内に発注者へ資料を提供（納品）したことで、高い評価を頂いた。



図-12.1 UAVにて撮影した崩壊法面【2015/7/23撮影】



図-12.2 現場状況写真【2015/7/23撮影】

(b)各種情報の生成

・平面図の作成

法面崩壊部分について、空撮画像接合データより図化を行い、それ以外の部分については既存の地形図を使用することにより、災害査定や後続の調査に利用できる平面図を作成した。（図-13）

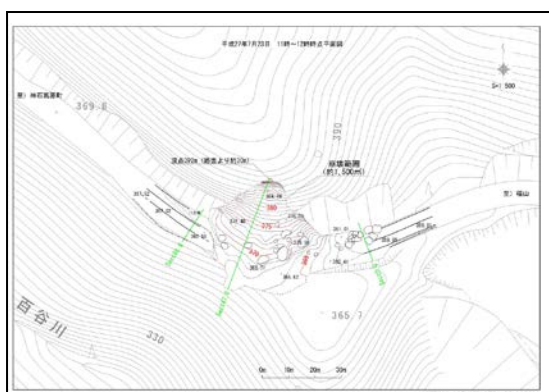


図-13 作成した平面図（縮尺1：500）

・推定崩壊土量計算

法面崩壊部分について、図-14.1に示す任意の測線を引き、計3回の観測で生成した3次元地形モデルを比較し、法面崩壊直後（7/23）と土砂をほぼ撤去した後（7/29）の断面を比較して、推定崩壊土砂量を算出し

た。（図-14.2）

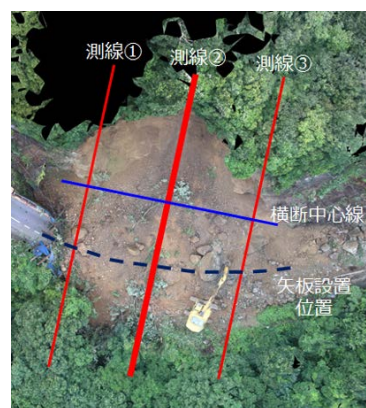


図-14.1 横断測線図

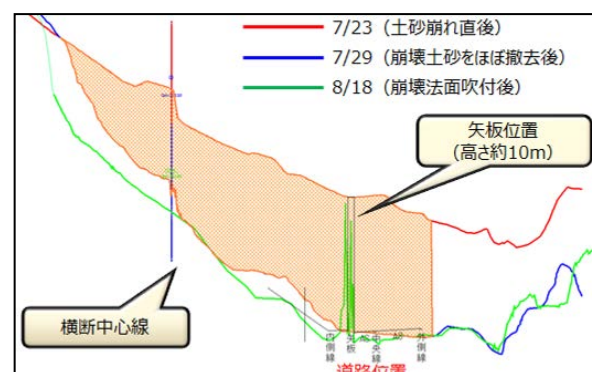


図-14.2 3時期の横断面図比較（横断測線②）

(c)クラック判別

8/18に法面崩壊部分における吹付（地山の安定を図るための暫定工事）のクラック状況を調査するため、吹付斜面より約15m離れた位置から撮影を行った。

撮影した写真上で測定したところ、約1.5cm程度のクラックまで容易に判別することができた。地形条件には因るが、通常の近接目視等に比べて安全かつ迅速な状況把握が可能である事を立証できた。（図-15）

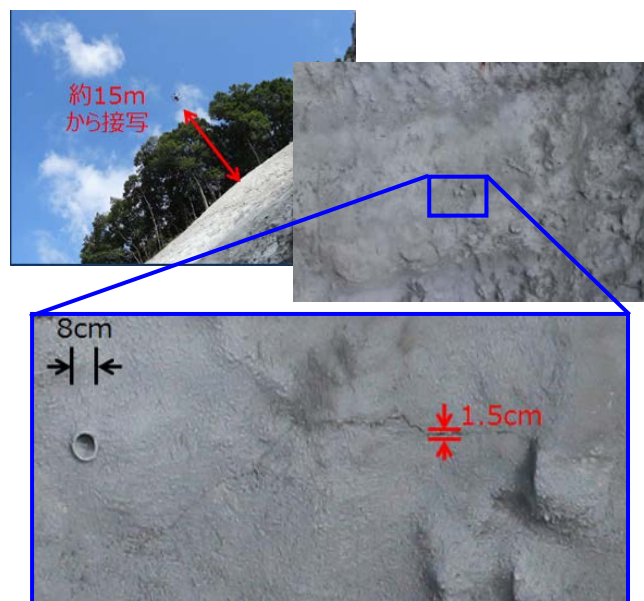


図-15 クラック状況図

(5) その他事例

(a) フォトモンタージュ作成（岡山市，平成26年12月）

UAVで撮影した斜め写真を利用して，完成イメージ図（フォトモンタージュ）の作成を行った。（図-16）



図-16 フォトモンタージュ（県道BPのアンダーパス部）
【背景図にUAVの斜め写真を利用】

6. 今後の展開について

(1) コンクリート構造物診断（赤外線サーモカメラ）

これまでの法面・コンクリート調査では目視による概観調査やハンマー等による打音検査により剥離箇所を特定していた。これに代わる方法として，「赤外線サーモカメラ」を利用することにより，表面には表れない変状の識別が可能となる。UAVに搭載できるカメラも登場しており，前述のとおり通常人が立ち入れない場所での活躍が期待できる。

可視画像と熱赤外画像の重ね合わせでは，可視画像を背景とすることにより容易に変状箇所を判読することが可能となる。（図-17）

現在では，通行規制が実施しにくい幹線道路での法面調査（湧水等の確認）やメガソーラーの点検（発電効率の監視）にも利用されている。

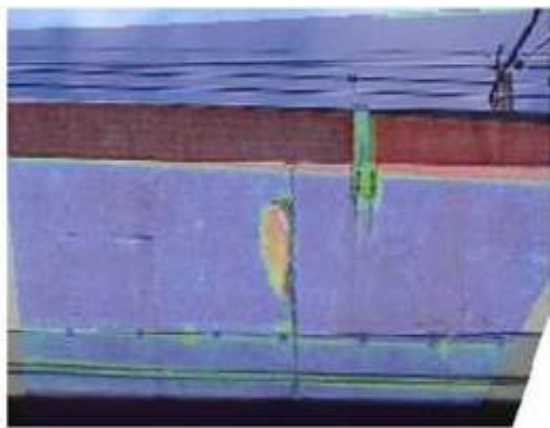


図-17 ¹⁾赤外線サーモグラフィカメラを利用したコンクリート構造物診断（橋梁側面【高欄部】）の例

(2) 植物活性度評価画像を用いた農地管理

衛星画像を利用した植物活性度指標（NDVI）画像は過去に例があるが，現在この指標を抽出するための小型カメラも登場していることから，UAVで撮影することで，さらにきめ細やかな農地管理ができると考えている。

図-18では，赤色が強くなるに従い植物（稲）の生育が活発となり，青色が強くなるに従い植物の生育が低調あることを示している。

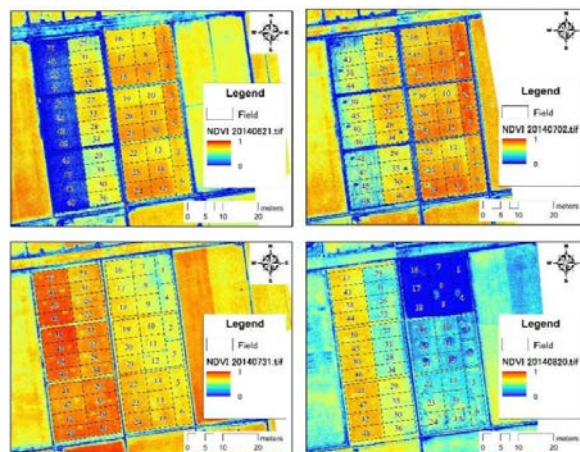


図-18 ²⁾撮影画像から求めたNDVI画像の例
（圃場内の生育状況）

7. おわりに

現在，UAVは災害時での活用場面が多く，主に官公庁（国・県・市町村）へ向けての速報（公表）資料として使用している。その為，時間との勝負となる場合が多いことから，生成した情報をいかに素早くかつ確実な情報として提供できるかが重要であり，その仕組み作り（人材育成，解析技術の向上等）が今後の課題であると考えている。

今後は，同じ点群データを取り扱うMMS（モバイル・マッピング・システム）や地上型レーザースキャナとのデータ融合・処理による新たな活用法の創出等，さらなる技術力の研鑽に注力していく。

また，数値地形図のように，UAVで取得・生成した情報が従来の方法（地上測量）への代用が可能なレベルとなっていることから，国土交通省が定める公共測量作業規程等，公的な規程での制定に向けた動きにも期待している。

参考文献

- 1) 日本アビオニクス株式会社：赤外線サーモグラフィによるコンクリート構造物診断
- 2) 濱侃，早崎有香，近藤昭彦（千葉大学），田中圭（日本地図センター）：ラジコン電動マルチコプターを使用した近接画像からの水稻生育状況モニタリング（平成26年度日本リモートセンシング学会）