

# 釧路湿原の環境調査における DXの取り組みについて —効率化と高度化を目的とした新技術の活用—

釧路開発建設部 治水課 ○橋本 武幸  
金谷 将志  
(株)北開水工コンサルタント 川嶋 啓太

釧路開発建設部では、釧路湿原の自然再生事業の事前調査、評価、モニタリングにおいて、様々な環境調査が実施されている。一方、環境調査では、調査による自然環境への負荷軽減や熟練技術者依存の調査からの脱却等を目的に、新技術の導入や活用が検討されている。

本報告では、釧路湿原における環境調査での効率化・高度化を目的としたレーザー測量や画像解析技術を活用した取り組みを報告するとともに、その効果について検討を行ったものである。

キーワード：新技術、環境調査、DX、湿原

## 1. はじめに

釧路湿原は日本最大の湿原であり、特別天然記念物のタンチョウをはじめ、約2,000種の野生生物が生息・生育している。1980年に我が国初のラムサール条約登録湿地に指定され、1987年に釧路湿原が国立公園に指定されている。釧路湿原において最も重要な課題は、湿原面積の急激な減少である。釧路湿原は農地拡大、河道の直線化及び市街化等に伴い面積が減少し、さらに湿原流入部では冠水頻度の減少、地下水位の低下、湿原内部への土砂流入増加により乾燥化が急激に進み、ヨシやスゲ類の湿原にハンノキ林が侵入し拡大したと考えられている。

このような人為影響による急激な変化は、釧路湿原が有する生態系サービスを低下させ、野生生物のみならず人間にとっても大きな影響を与える可能性が高く、早急な対策をとる必要が生じている。これらの課題の解決に向け、「釧路自然再生協議会」(2003年11月発足)では、釧路湿原自然再生の基本的な考え方や目標などを定めた「釧路湿原自然再生全体構想」を策定し、各主体が実施計画に基づき様々な自然再生事業の取り組みを進めている。

釧路開発建設部では、自然再生事業と並行して、湿原の実態と事業効果について把握・評価するため、様々な環境調査を実施してきた。広大で貴重な自然環境を有する湿原内の環境調査では、以下にあげる4つの課題を解決すべき重要なものとして認識している。

1. 湿原面積が広大であるため、移動や労力の関係から植生調査等で広域の調査が難しく面的な評価が困難であること

2. 調査による踏み荒らし等の人為的攪乱が、湿原環境に負荷を与えてしまうこと
3. 洪水時の冠水等を含め、湿原の性質上アクセスルートが制限されやすく、調査が困難なこと
4. 熟練技術者の減少に伴い、これまでの調査精度を維持するためには、熟練技術者依存の調査からの脱却が必要なこと

上記の課題解決において共通しているのは、調査の効率化と高度化であり、新技術の導入や活用が有効であるという点である。

そこで本研究では、3Dレーザー測量による樹木調査、マルチスペクトルセンサー搭載UAVによる植生活性度の調査、UAV撮影動画を活用したSTIV解析による流量推定の3つの新技術を活用した環境調査の結果を報告するとともに、効率化・高度化の観点から従来の調査(以下、従来法)と新技術の調査とを比較し、今後の課題について検討を行った。

## 2. 3Dレーザー測量による樹木調査

### (1) 調査概要

細岡地区において、コドラート法による植生調査を実施するため、2006年に永久コドラートを釧路川KP15.5付近に設置した。永久コドラートは、河岸際にヤナギを含むハンノキ高木林、その後背地にハンノキ低木林、さらに湿原側にヨシ、ツルスゲ、ムジナスゲ、ヤチヤナギが優占する湿原環境を包括するよう、河岸から湿原内部に向けて10m×10mのコドラートを10箇所連続的に設置している。植生調査は、設置直後を含め、5年毎に実施しており、2021年で4回目の調査となる。従来法では、人

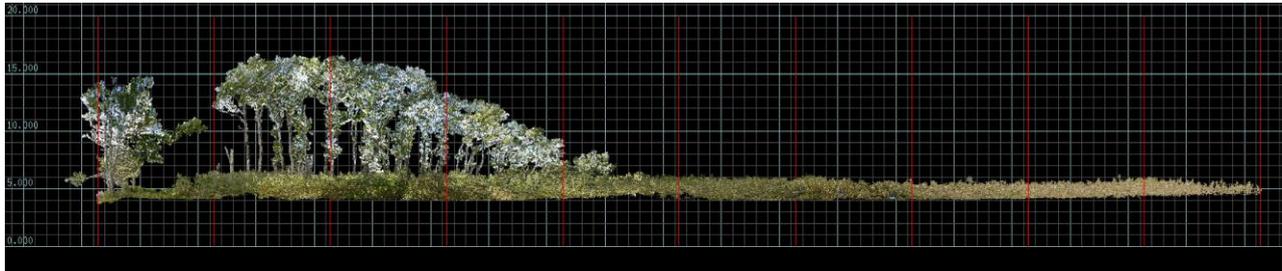
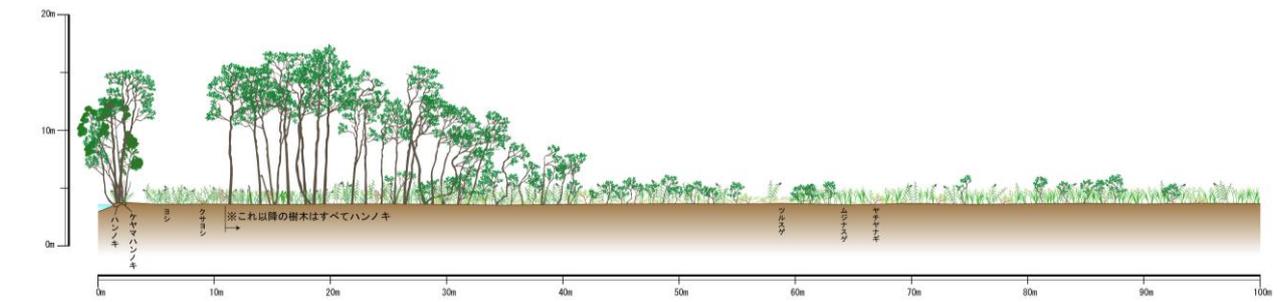


図-1 植生断面図（上段：従来法、下段：新技術）

力により樹高・胸高直径・密度を計測していたが、今回の調査では、従来法に加え3Dレーザー測量（以下、新技術）を活用した樹木調査を実施した。

## (2) 調査方法

従来法の植生調査は、2021年8月24日、各コドラート内の樹高1.5m以上を対象として毎木調査（樹種・樹高・胸高直径）を行った。樹高1.5m未満については樹種と本数のみ調査を行った。

新技術による毎木調査は、2021年9月16日、コドラート内において、地上型3Dレーザースキャナー（RIEGL、型式：VZ-1000、精度：100m先で8mm、確度（再現性）：100m先で5mm）を河岸から湿原内部へ5m、12m、30m、70mの計4箇所に設置し、レーザー測量を実施した。計測・点群データ等の編集にはRiSCAN（RIEGL）を、点群データのメッシュ化・横断作成等にはLandforms（株）アイ・エス・ビー）を使用した。

## (3) 結果および考察

### a) 植生断面図

従来法および新技術により作成した植生断面図を図-1に示す。一見して、新技術により作成した図は、従来法と比較して、4m程度以上の亜高木・高木の現地状況をより正確に表現出来ていることが示された。

一方、ヨシ・スゲの多い湿原側では、ノイズデータ除去等の影響により、4m未満の低木をとらえるのが困難であることが示された。

### b) 毎木調査（胸高直径・樹高）

毎木調査の胸高直径・樹高について、コドラートごと（Q1=コドラート1）に胸高直径・樹高の平均について従来法と新技術との比較を行った（図-2）。樹木数も多く、樹高が大きいQ3を例にとると、胸高直径では従来法の13.9cmに対し新技術では14.8cmと、その差は0.9cmで

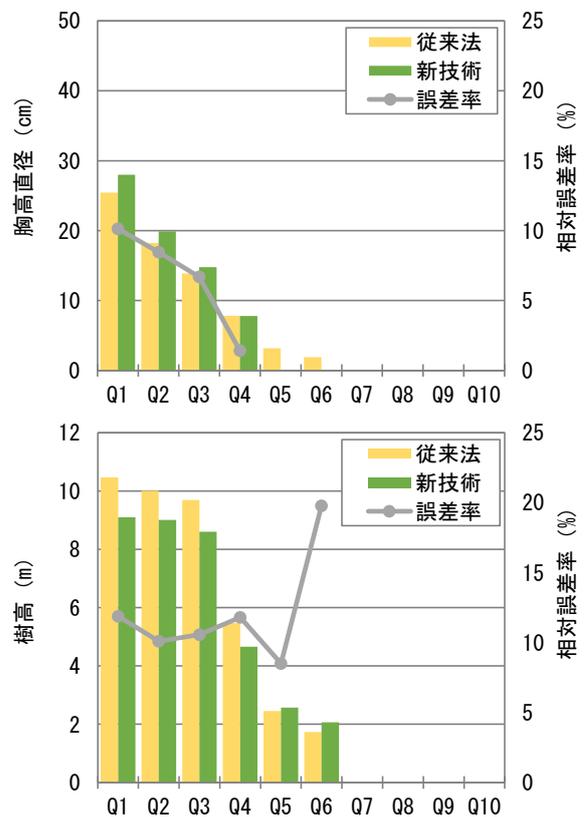


図-2 従来法と新技術における胸高直径（上段）と樹高（下段）の比較  
誤差率は、従来法を正値とした場合の差の相対値を示す。

あり、従来法を正値とした場合の誤差率は6.7%であった。また、樹高では従来法の9.7mに対し、新技術では8.6mと、その差は1.1mであり、誤差率は10.6%であった。その他のコドラートにおいても、誤差率は概ね10%前後となっ

ており、この結果から毎木調査の樹高・胸高直径において、新技術による調査でも従来法と変わらない精度の結果が得られることが示された。

一方、新技術の調査では、樹種の特が非常に困難であるため、本調査のようにコードラート内の樹種やその平面位置を把握している場合に特に有効であると言える。

### c) 新技術による効果と課題

作業の効率化について検討するため、各調査の工数を表-1に整理した。従来法と新技術の工数を比較すると、従来法の樹木調査が合計 80.0 時間であるのに対し、新技術では合計 45.8 時間と約 43%の時間が削減され、作業が大幅に効率化することが示唆された。また、現地調査をみても 60%の時間が短縮されており、前述した湿原環境への負荷を低減させる効果も有すると言える。

高度化の観点では、新技術では樹高・胸高直径・密度の定量的な把握に加え、詳細な植生断面の描画や樹木の平面座標を容易に得ることが可能である。これらデータを経年的に蓄積することにより、樹木データを BIM/CIM のように管理することも可能である。これまで樹木調査は熟練技術者に依存する調査となっていたが、樹種が判明している場合には、熟練技術者に依存しない調査も可能であることが示された。

一方、課題としては、調査結果からノイズデータ等を除去する際に一定のスキルが必要な点や、3Dデータを扱うソフトが高額な点などがあげられる。

## 3. UAVによる植生活性度の調査

### (1) 調査概要

茅沼地区において、ハンノキの生態についての知見の蓄積のため、2019年8月から鉧路川右岸KP32.2付近の中島内のハンノキ群落で環状剥皮試験を実施している。実施箇所は地下水位に応じて3箇所設置され、それぞれ試験区と対照区が設けられている（各区の大きさは30m×30m、図-5）。設置後、毎年、ハンノキの生育状況（枯死状況、鬱閉率、ハンノキ結実、葉の大きさ、下層植生等）を人力により調査している。従来法での調査は、調査地へのアクセスには渡河に動力船を使用し、その後、陸上ではぬかるみを30分程度移動する等、調査労力や環境への負荷が大きい。そこで今回は、環状剥皮の効果について、従来法による調査に加え、マルチスペクトルセンサー搭載UAVを活用し、植生指数を用いて評価する方法を実施した。

### (2) 調査方法

従来法の植生調査は、2021年8月4～6日に上記内容で実施した。マルチスペクトルセンサー搭載UAVによる植生活性度の調査（以下、新技術）は、2021年8月4日にP4Multispectral (DJI) を用いて、高度50～80mから各調査区を含む茅沼地区中島部のハンノキ群落全体のマルチスペクトルデータ等を計測した。使用機体は、Phantom4に日照センサー、マルチスペクトルカメラ、RTK、GNSS

表-1 細岡地区の樹木調査における工数比較

調査内容	延作業工数 (h)			
	従来法		新技術	
	現地	内業	現地	内業
ノイズ除去等の前処理	—	—	—	17.60
植生断面図	16.00	16.00		1.00
樹木位置平面図	16.00	8.00	19.20	2.00
樹高・胸高直径	16.00	8.00		6.00
小計	48.00	32.00	19.20	26.60
合計	80.00		45.80	
備考	現地2名/班		現地4名/班	

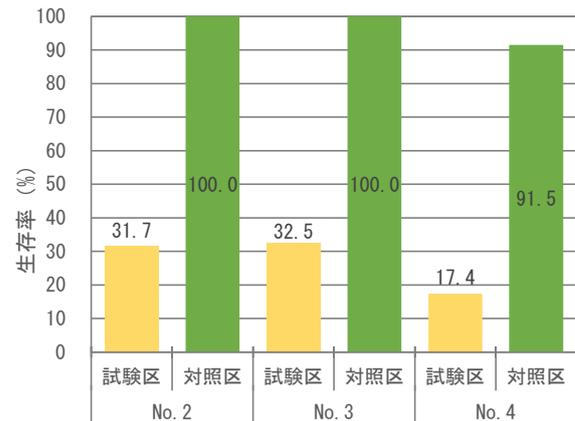


図-3 各調査区におけるハンノキ生存率 (従来法)

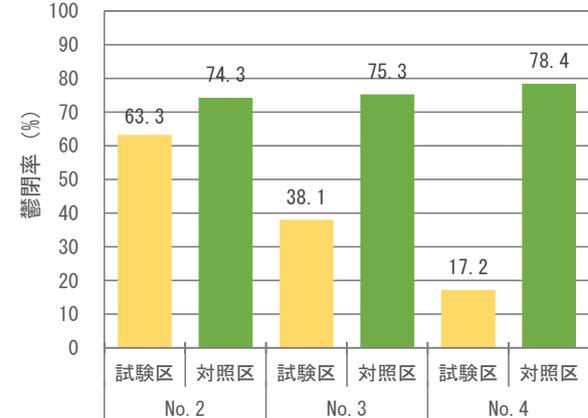


図-4 各調査区における鬱閉率

機能が付加されたものである。また、マルチスペクトルカメラには、6つのカメラ（レッドエッジ:730nm ± 16nm、近赤外:840nm ± 26nm、グリーン:560nm ± 16nm、可視光（RGB）、レッド:650nm ± 16nm、ブルー:450nm ± 16nm）が搭載され、これらの計測データから、植生活性度は、様々な文献で植生指標として活用されているNDVI=(近赤外-レッド)/(近赤外+レッド)を用いて解析した。計測データの解析には、Pix4Dfields (Pix4D S.A) を使用した。

### (3) 結果および考察

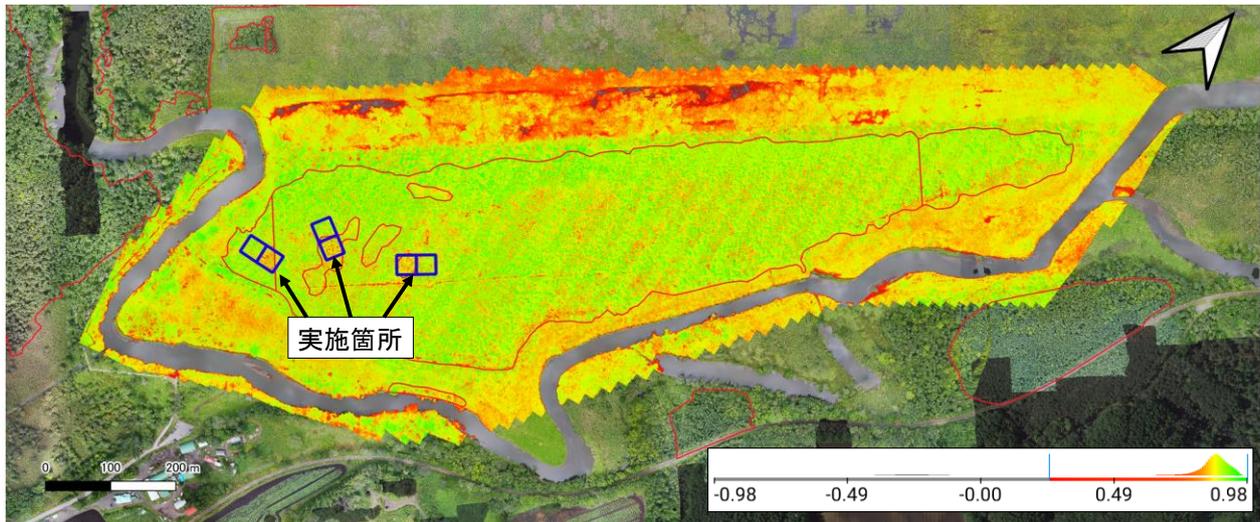


図-5 茅沼地区中島部におけるハンノキ群落のNDVI画像

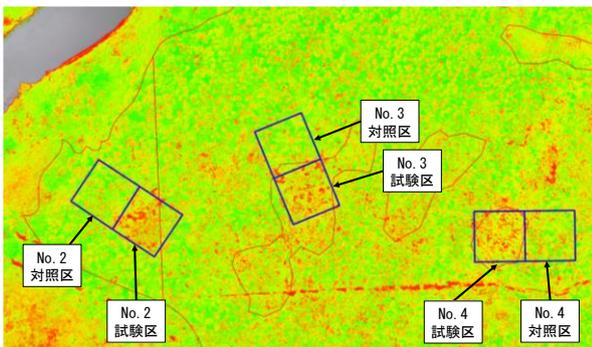


図-6 各調査区におけるNDVIの状況(拡大図)

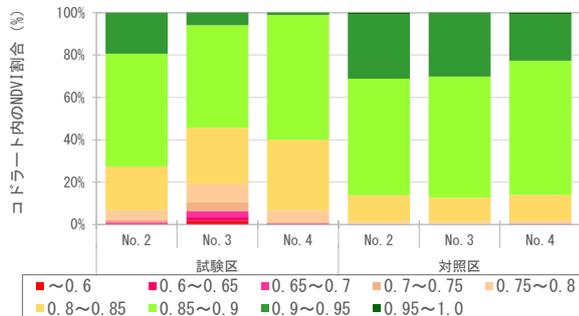


図-7 各調査区内におけるNDVIの割合

表-2 茅沼地区の調査における工数比較

調査内容	延作業工数 (h)				小計 (h)	合計 (h)
	現地	内業	現地	内業		
従来法	枯死率調査	42.0	4.0	—	—	46.0
	鬱閉率	4.5	4.0	—	—	8.5
	アクセス・地点間移動	9.0	—	—	—	9.0
新技術	NDVI調査	—	—	12.0	12.0	24.0

現地調査は、従来法=3名/班、新技術=2名/班

#### a) 従来法による調査結果

従来法による調査の内、試験区および対照区における環状剥皮試験開始後からのハンノキ生存・枯死から算出した割合である生存率を図-3に、全天に対する樹木の葉

や幹の占める割合である鬱閉率を図-4に示す。生存率では、対照区ではそのほとんどが生存していたのに対し、試験区では、生存率が17.4~32.5%と枯死個体を多く確認した。また、鬱閉率については、対照区では概ね70%以上となったことに対し、試験区では最大でも63.3%と環状剥皮によってハンノキ立ち枯れが促進された結果を反映した値となった。

#### b) 植物活性度

新技術による試験箇所付近の調査結果となるNDVI画像を図-5に示す。図中のNDVIは、赤色に近いほど植生活性度が低く(生育状態が悪い)、緑色に近いほど植生活性度が高い(生育状態が良好)ことを示しており、図-6では、一見していずれの試験区においても赤の割合が高く、対照区では緑の割合が高いことが判読できる。

コドラート内のNDVIの割合を図-7に示す。NDVIが0.85以上の割合は、対照区では85%を超えているのに対し、試験区では54~74%と、NDVIを指標とした植生活性度の調査においても、試験区においてハンノキの立ち枯れを反映した植生指数の低下を確認できた。

#### c) 新技術による効果と課題

茅沼地区における従来法と新技術による調査結果を比較すると、新技術による調査でも従来法と同等の調査結果が得られていると考えられる。したがって、新技術による調査で従来法を概ね代替する植生評価が可能と考えられ、熟練技術者に依存しない調査手法になると考える。

さらに新技術による調査では、従来法と比べ、広大な範囲を調査可能である(図-5、従来法による調査範囲は青で囲まれた範囲、新技術による調査範囲はNDVI値が計測されている範囲)。今回の調査結果により、NDVIがハンノキの活性度(枯死状況等)の評価にも適用可能であることが示され、これを活用し、茅沼地区中島部のハンノキ群落全体の活性度を評価することで蛇行復元の評価にも活用できるなど、広域かつ面的な湿原の評価が可能であるといえる。

調査工数(表-2)では、従来法ではアクセスを含め環状剥皮試験区だけで合計63.5時間だったのに対し、新技術では茅沼地区中島部ハンノキ群落全体の調査を含めた広範囲を合計24時間で調査することが可能であり、調査の大幅な効率化の可能性も示唆された。UAVを活用したこのような調査では、湿原環境への調査による人為的攪乱の軽減や、湿原環境へのアクセス性の問題の解消に資するものと考えられる。

一方、課題としては、マルチスペクトルセンサー搭載UAVの操作や解析に一定のスキルや初期投資が必要な点があげられる。また、植生指数は時期により変化する可能性があるため、通年で変化を確認し、今後数値を一般化することも重要と考える。

#### 4. UAVとSTIVを活用した流量観測

##### (1)調査概要

久著呂地区では、2012年より行われている湿原への土砂流入量を抑制する事業において、土砂調整池への濁水量を把握するため、鉦路川水系久著呂川で流量観測を実施している(図-8)。しかし、出水時には、近傍道路の冠水によってアクセスが困難であったり(図-8および写真-9)、従来の流量観測では局所的なデータしか得られないため湿原内の流況を把握できないなどの問題を抱えている。そこで出水時にUAVを用いて撮影した動画から画像解析(STIV法)を用いて、流量推定(以下、新技術)を行い、その適応性について検討した。

##### (2)調査方法

2021年6月3~5日、久著呂川KP9.4~15.5の光橋および土砂調整地上流の2箇所において、MATRICE 200(DJI)を用いて、高度100mから垂直動画の撮影を行った。解像度は4K(3840×2160画素)、30フレーム/sとし、撮影時間は1分間とし、各4回調査を行った。撮影動画から川幅に応じて流速を推定する検査線を10本設定し、各検査線の流速から流量推定を行った(図-9)。流速および流量の推定には、Hydro-STIV(株式会社ハイドロ総合技術研究所)を用いた。また、上記のSTIV法による推定流量の精度は、既往データを含めたH-Q式から得られる流量との比較により、検証した。なお、同H-Q式は、水位に応じて三映式流速計による低水観測、浮子観測により求めている。

##### (3)結果および考察

###### a)STIV法の流量精度

各調査区における従来法による実測流量とSTIV流量を図-10に示した。STIV流量は、実測流量から求めたH-Q式との誤差が概ね10%以内であった。河川砂防技術基準一調査編では、前年の水位流量関係等との間に10%程度以上の差異がある場合には、再測を行うことや原因を究明する等が示されている。また、浮子観測法で得られた流量値も不確実性を考慮すると真値から10%程度の幅を有しているとされる。したがって、今回の得られた

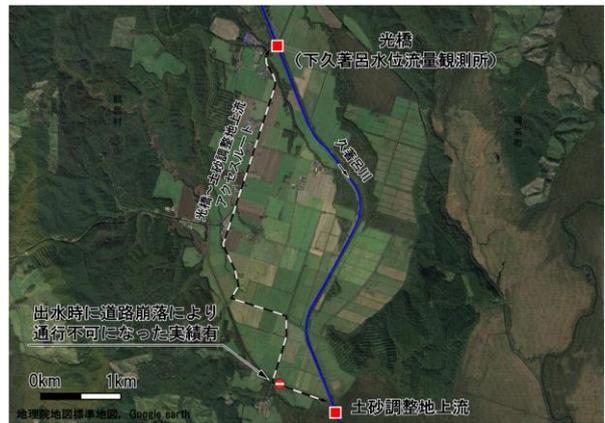


図-8 久著呂地区の調査位置の状況



写真-1 H30年3月出水によるアクセス路への影響



図-9 土砂調整地上流の検査線

STIV観測は、幅広い水位で概ね高い精度で観測できていると考えられた。

###### b)STIV法による効果と課題

実測観測とSTIV法による観測による作業工数の比較を表-3に示した。従来法では合計4.5時間に対し、新技術では合計4.0時間と作業工数的には、大きな差異は見られなかった。しかしながら、現地作業が1時間短縮されることから、湿原環境への負荷が軽減されることや、出水時等で現地へのアクセスが困難な場合でも遠隔地から観測が可能であるという利点がある。また、作業工数はあくまでも低水・高水流量観測の1測線・1回あたりでの比較である。河川の縦断的なデータを得るため、複数断

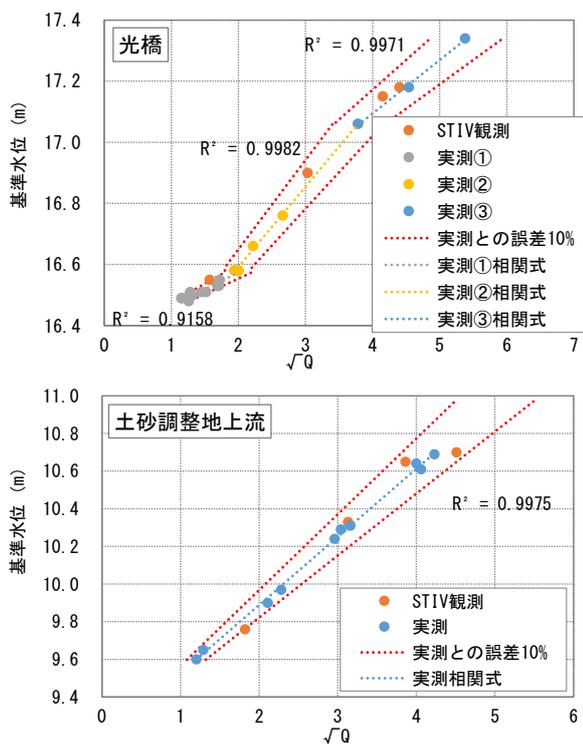


図-10 各調査区における従来法による実測流量と STIV 流量  
上段：光橋、下段：土砂調整地上流  
STIV 観測値のバーは誤差 10%の範囲を示す。

表-3 久著呂地区における従来法と新技術の工数比較

調査内容	延作業工数 (h)			
	従来法		新技術	
	現地	内業	現地	内業
低水流量観測 (測線/回あたり)	1.50	0.50	1.00	1.00
高水流量観測 (測線/回あたり)	1.50	1.00	1.00	1.00
小計	3.00	1.50	2.00	2.00
合計	4.50		4.00	
備考	現地3名/班		現地2名/班	

面を連続的に観測する際には、調査回数が多くなるため、作業効率は大幅に上がることも想定される。

一方、課題としては、UAVの操作や解析には一定のスキルが必要であることや機器・ソフト購入の初期投資等があげられる。また、新技術の観測では評定点が必要なため、近傍に構造物などが無い場合は、事前に評定点の設置が必要である点、平水・低水時等の水深が浅く波紋が見られない場合の観測にはトレーサーが必要である点に注意が必要である。得られる結果は表面流速のため、表面流速から平均流速を推定する必要があり、平均流速を推定するための更正係数は、本報告では一般的な0.85を採用している。しかし、河川特性、流況、粗度係数等により、更正係数を調整した方が、流量精度が向上することも確認されているため、現地条件に合わせた更正係数の検討も必要と考える。さらに、出水は、夜間に発生することも少なくないため、夜間航行や赤外線カメラを使った解析についても今後の課題と考える。



写真-2 UAVを活用した現地見学会の様子

## 5. おわりに

本調査では、3Dレーザー測量による樹木調査、マルチスペクトルセンサー搭載UAVによる植生活性度の調査、UAVとSTIVを活用した流量観測の3つの新技術を活用した環境調査により、効率化・高度化の実現が可能であり、はじめに述べた4つの課題の解決にも、今後、大きく寄与することが示唆された。

一方、新技術の活用には、新たな課題も見えてきた。具体的には新技術で活用する観測機器や解析ソフトが高価であり、初期投資が課題となる点や機器の操作・解析ソフトに一定のスキルを要するといった点である。さらに調査の高度化により、得られる情報も膨大となるため、今後の釧路湿原の評価において、どのように体系的にデータを保存・蓄積していくかや横断的に活用していくかを検討していくことが大きな課題になると考える。

国内ではDXの取り組みが推進されており、当調査でも更なるDXの取り組みを推進すると共に、得られた詳細な植生や樹木、河川流況情報などの活用にも取り組んでいきたい。

本調査で使用したUAVを市民の現地見学会等で、上空からの河川や湿原の見学にも活用して、好評を得ている(写真-2)。そのような地域との連携などでも新技術の柔軟な活用や技術の紹介を図り、より地域住民の方々に理解しやすい形で情報発信していくことで、自然再生の取り組みの推進にも繋げていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生協議会、釧路湿原自然再生全体構想 2015年改訂版 (2015)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局 (2014) 国土交通省河川砂防技術基準—調査編
- 3) 尾崎敬二 (2011) デジタルカメラ近赤外画像を用いた植生状況推定の評価, 情報処理学会第73回全国大会講演論文集: 39-40.
- 4) 金鷹南・後藤恵之輔・全柄徳 (1997) 近赤外線デジタルカメラを用いた韓国江原道地方における松枯れ被害調査, 長崎大学工学部研究報告 Vol.27(48): 51-57.
- 5) 萬矢 敦啓・後藤 功次・山本 晶 (2020) 異なる計測手法から得られた河川流量値の違いに関する検討, 国土技術研究会論文集, イノベーションII C3: 20-25.