

釧路湿原の環境調査におけるDXの取組について —効率化及び高度化を目的とした新技術活用による調査事例—

釧路開発建設部 治水課 ○森 智昭
稲垣 乃吾
(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、様々な環境調査を実施しており、環境調査では、DX推進による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図っている。

本報告では、釧路湿原茅沼地区における環境調査での効率化・高度化を目的としたUAV3Dレーザー測量、AIによる植生区分、植生指数による植生状態の評価の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：UAV3Dレーザー測量、AI、湿原、マルチスペクトルセンサー

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3,500種を超える野生生物が生息・生育している。1980年には我が国初のラムサール条約登録湿地に指定され、1987年には釧路湿原が国立公園に指定されている。釧路湿原では、湿原面積の減少や質的变化が重要な課題となっている。同湿原は農地拡大、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がハンノキ林に置き換わったと考えられている。

このような人為的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防災・農林水産業・観光等に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、釧路開発建設部では、「釧路湿原自然再生全体構想」に則り、茅沼地区、幌呂地区、久著呂地区、ヌマオロ地区で様々な自然再生事業の取り組みを進めている。

また、同自然再生事業の効果を把握・評価するため、様々な環境調査を実施しており、調査自体の環境負荷を低減しつつ、効率化・高度化する方法として、新技術の活用を積極的に行ってきた。

本報告では、UAV3D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による植生活性度の評価、UAV空撮とAIを活用した植生区分について、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、今後の課題等について検討した。

2. 調査地概要

調査地は、釧路川 KP30.6～36.4 の茅沼地区とした（図-1）。同地区では昭和 50 年代に治水対策及び周辺の土地利用を目的に直線化がなされた。前述の湿原の量的・質的变化から、湿原環境の保全・復元が検討された結果、「旧川復元事業」が実施された。旧川復元事業は平成 23 年 3 月に完了し、直線河道は残土で埋め戻されている。

(1) UAV3D 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による植生活性度の評価

上記、茅沼地区の内、釧路川右岸KP32.2付近で令和元年8月から中島部のハンノキ群落において環状剥皮試験を実施している。試験実施箇所は地下水位に応じて3箇所設置され、それぞれ環状剥皮試験区（以下、試験区という）と未対策区（以下、対照区という）が設けられている（各区の大きさは30m×30m）。今回の調査対象は、いずれの調査も環状剥皮試験実施箇所としたが、植生活性度の評価は中島部のハンノキ群落も対象とした。

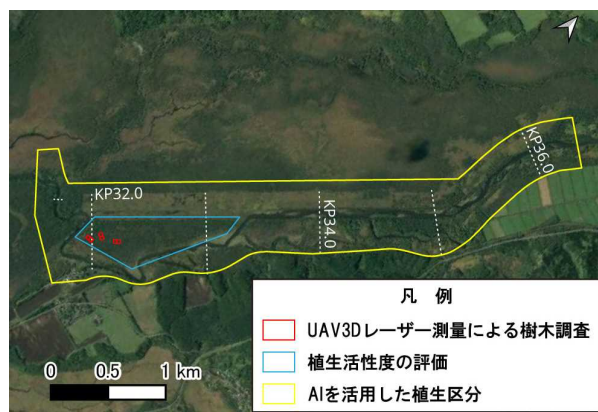


図-1 調査対象とした釧路川水系の茅沼地区

表-1 UAV3D レーザー測量による樹木調査と毎木調査との比較

名称	階層	No.2						No.3						No.4					
		樹木本数 (本/Q)			平均樹高 (m)			樹木本数 (本/Q)			平均樹高 (m)			樹木本数 (本/Q)			平均樹高 (m)		
		実測		UAV3	実測		UAV3	実測		UAV3	実測		UAV3	実測		UAV3	実測		UAV3
		生	枯	D	生	枯	D	生	枯	D	生	枯	D	生	枯	D	生	枯	D
試験区	高木	7	7	14	11.9	12.0	11.6	4	5	9	12.1	10.4	11.2	3	7	10	10.7	10.9	10.6
	亜高木	5	6	11	5.6	5.8	5.5	5	6	11	5.8	5.4	5.5	0	9	9	—	5.3	5.2
	低木	1	9	—	1.4	1.4	—	3	8	—	2.4	1.6	—	1	14	—	3.8	1.8	—
対照区	高木	31	0	29	14.3	—	14.5	32	0	27	11.4	—	11.7	25	0	23	11.7	—	11.9
	亜高木	4	0	4	6.0	—	5.9	22	0	17	6.0	—	5.8	24	1	16	6.0	5.0	6.0
	低木	0	0	—	—	—	—	1	0	—	3.7	—	—	4	2	—	2.9	2.3	—

(2) AI を活用した植生区分

KP30.6～36.4の茅沼地区の内、既往の河川水辺の国勢調査で植生図を作成している範囲を対象とした。

3. 調査方法

(1) UAV3D レーザー測量による樹木調査

令和4年10月、上記2.(1)の範囲において、航空測量用カメラ (DJI Zenmuse L1) を使用して、50m 上空から3D レーザー測量を行った。測量密度は、400 点/m²以上となるように飛行速度等を調整した。計測した点群データ等の編集には TREND-POINT (福井コンピュータ株式会社) を使用した。

(2) マルチスペクトルセンサーによる植生活性度の評価

令和3年8月および令和4年8月にマルチスペクトルセンサー搭載 UAV (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を計測した。計測データの解析には、精密農業マッピングソフトウェア (Pix4Dfields、Pix4D.S.A) を使用した。

上記(1)および(2)は、同時期に実施した環状剥皮試験区で実施されている毎木調査等と作業工数を含めて比較を行った。

(3) AI を活用した植生区分

2.(2)の範囲について、令和3年に実施した河川水辺の国勢調査の河川環境基図作成調査 (以下、植生図作成調査) の結果および使用した航空写真 (令和3年撮影) を収集した。また、アノテーションデータ (認識画像と対応するラベル付き画素) には、範囲内の植生図を14分割したものを使用した。

自動識別モデルには、植生図作成では画素単位の区分が必要となることから、それが可能なセマンティックセグメンテーション (DeepLab v3) を採用し、各アノテーションデータを513pixelに画像分割し、100,000回学習を行った。なお、各アノテーションデータは4,000×4,000 pixel程度のサイズがある。

上記について、河川水辺の国勢調査で実施されている植生図作成調査と作業工数の比較を行った。

4. 結果および考察

(1) UAV3Dレーザー測量による樹木調査

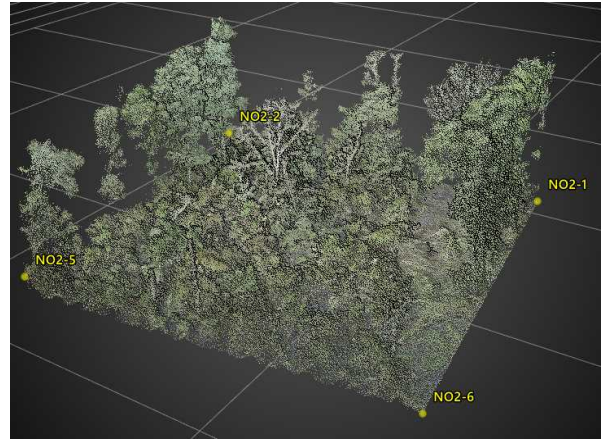


図-2 UAV3Dレーザー測量の点群データ例 (No.2試験区)

UAV3Dレーザー測量による調査地の点群データ例 (No.2試験区) を図-2に示す。樹形は良好に把握されており、枯死木も高木・亜高木はその大半が判別可能であった。

表-1にUAV3Dレーザーによる樹木調査 (以下、レーザ調査) と毎木調査との比較を示す。

以下、低木～高木までの区分は、河川水辺の国勢調査に準じ、低木=4m未満、亜高木=4～8m未満、高木=8m以上とする。

高木・亜高木の樹木本数について、試験区では枯死木を含めた合計本数を正確に把握することができたが、対照区では、樹木密度が高いため、データから判読できる本数が毎木調査の値より若干少なかった。高木・亜高木の樹高は、概ね同等の値となったが、低木の樹高を計測することはできなかった。また、胸高直径については、高木を含めて点群データから判読することは困難であった。これは、上空からのレーザ照射であるため、胸高直径の把握が可能な程、十分な点群密度で無かったためと考えられる。

(2) マルチスペクトルセンサーによる植生活性度の評価

茅沼地区中島部のNDVI画像を図-3に示す。植生活性度 (NDVI) の評価には、NDVI=(近赤外-レッド) / (近赤外+レッド)を用いて解析した。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) ことを示している。令和4年は令和3年より中島部のハンノキ林全体の植生活性度が低下していることが示された。

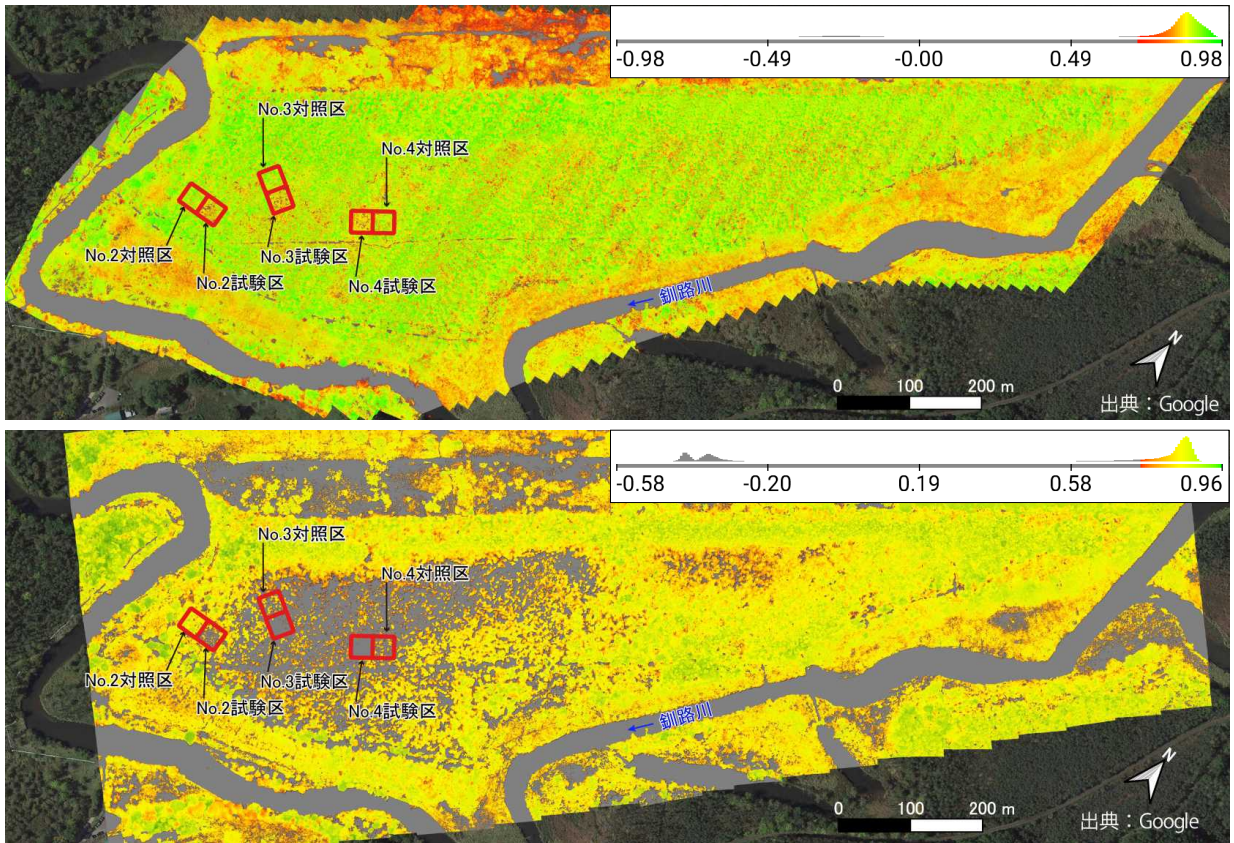


図3 茅沼地区中島部のNDVI画像（上：令和3年、下：令和4年）

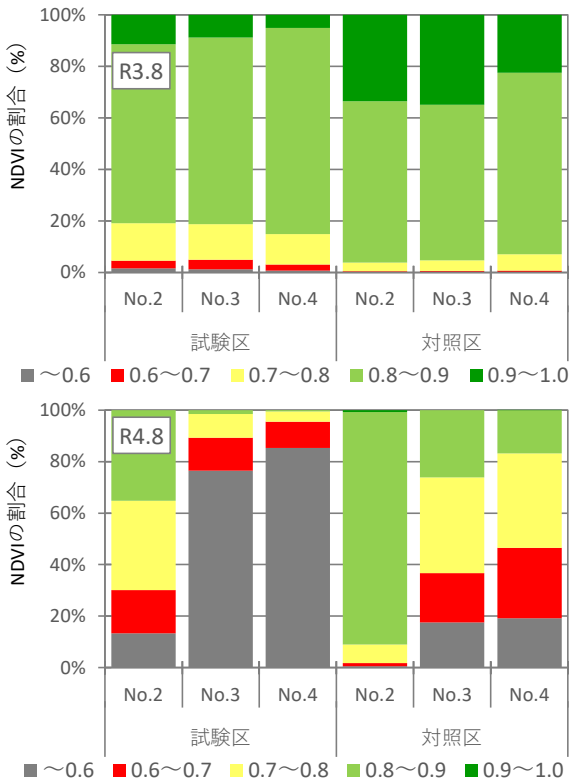


図4 NDVI割合の経年変化（上：令和3年、下：令和4年）

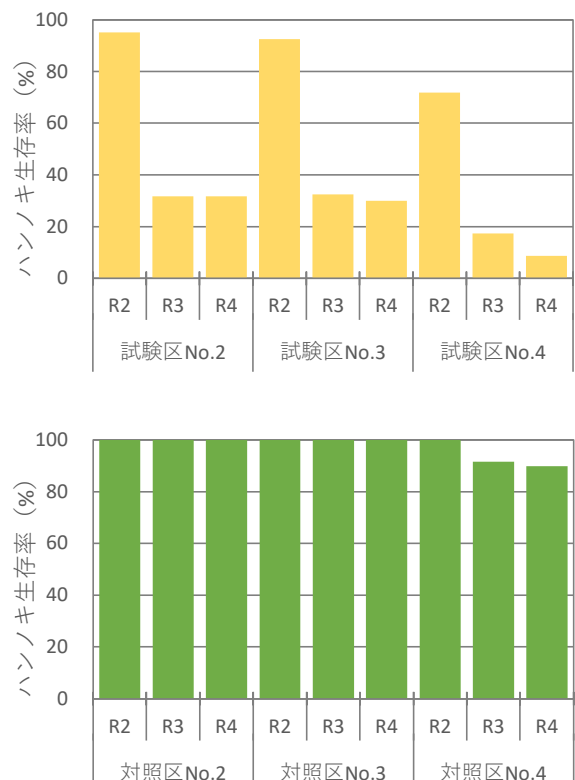


図5 毎木調査のハンノキ生存率（上：試験区、下：対照区）

また、環状剥皮試験を実施した試験区No.2～No.4は特に植生活性が低下したことが示唆された。

図4に環状剥皮試験区内のNDVI割合の経年変化を示した。特に試験区No.3およびNo.4でNDVIが0.6未満の割合

が大きく上昇した。これは、旧川復元による冠水頻度の上昇や令和4年に鉏路川の水位が高い状態が継続したことが影響したためと考えられる。

図-5に毎木調査のハンノキ生存率を示す。令和元年に

環状剥皮試験を実施後、2年後の令和3年から試験区では生存率が大きく低下したが、令和4年は試験区No.4のみ生存率が低下し、その他は大きな変化が見られなかった。

対照区では、試験区No.4のみ経年的に生存率が低下した。令和3年度と比較して、令和4年は生存率に大きな変化はみられなかったが、対照区を含めて、ハンノキの植生活性度は大きく低下した。旧川復元による冠水頻度の上昇や令和4年に釧路川の水位が高い状態が継続した影響も関係しているものと考えられるが、植生活性度は試験区でより低下割合が顕著であるため、環状剥皮の影響でより低下したものと考えられる。

(3) AIを活用した植生区分

a) 認識モデルの作成

学習する植物分類区分は、水辺の国勢調査で当該地域で確認された18群落区分とこれらを湿原植生・樹木・その他植生・開放水面・人工構造物の5区分に再分類した2つの認識モデルを作成した(表-2)。

b) 群落区分の判別状況

AIによる群落区分の判別状況を図-6に、AIによる群落区分の正解率を表-3に示した。

AIによる群落区分を視覚的にみると、旧川等の水域が正しく判別されていないところや、細かい植生群落が認識されていない箇所が複数確認できるが、大まかな植生分布の傾向は良く捉えられていると考える。

水辺の国勢調査で確認された各群落区分では、調査範囲で全体で53%の正解率であった。正解率は、開放水面83.0%、イワノガリヤス-ヨシ群集69.8%、エゾノキヌヤナギ-オノエヤナギ群集53.6%、ヤチダモ-ハルニレ群集55.2%、ハンノキ群落49.3%と50%程度を超えたが、

表-3 群落区分の正解率

No.	群落区分	正解率 (%)	被認識率 (%)	面積率 (%)
1	イワノガリヤス-ヨシ群集	69.8	4.2	42.28
2	イ群落	0.0	4.7	0.13
3	エゾオオヤマハコベクサヨシ群落	7.0	18.2	24.10
4	エゾノキヌヤナギ-オノエヤナギ群集	53.6	3.5	0.51
5	オオアワダチソウ群落	0.0	18.1	2.05
6	オオハンゴンソウ群落	0.0	0.0	1.80
7	オニナルコスゲ群落	0.0	2.5	1.83
8	カモガヤ-オオアワガエリ群落	0.0	0.0	0.73
9	セリ-クサヨシ群集	0.0	8.5	4.96
10	ツルスゲ群落	0.0	4.6	5.99
11	ハンノキ群落	49.3	1.7	0.04
12	ハンノキ群落(低木林)	0.0	11.3	0.69
13	ホザキシモツケ群落	0.0	6.9	0.19
14	ミゾソバ群落	0.0	9.4	0.26
15	ヤチダモ-ハルニレ群集	55.2	1.9	0.10
16	開放水面	83.0	1.7	13.52
17	構造物	0.0	76.2	0.05
18	道路	0.0	19.7	0.79
範囲全体		53.0	3.9	100.00

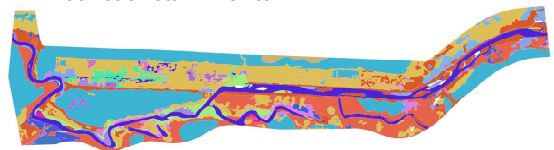
表-2 作成した認識モデル

No.	群落区分	凡例	再分類区分	面積率 (%)
1	イワノガリヤス-ヨシ群集		湿原植生	42.28
2	イ群落			0.13
3	オニナルコスゲ群落			1.83
4	ツルスゲ群落			5.99
5	ホザキシモツケ群落			0.19
6	ミゾソバ群落			0.26
7	エゾノキヌヤナギ-オノエヤナギ群集		樹木	0.51
8	ハンノキ群落			0.04
9	ハンノキ群落(低木林)			0.69
10	ヤチダモ-ハルニレ群集			0.10
11	エゾオオヤマハコベクサヨシ群落		その他植生	24.10
12	オオアワダチソウ群落			2.05
13	オオハンゴンソウ群落			1.80
14	カモガヤ-オオアワガエリ群落			0.73
15	セリ-クサヨシ群集			4.96
16	開放水面		開放水面	13.52
17	構造物		人口構造物	0.05
18	道路			0.79

認識画像



正解画像(植生図)



認識結果

正解率:53.0%

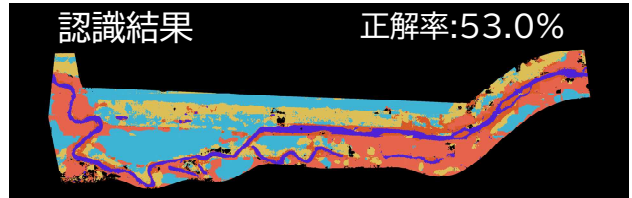


図-6 AIによる群落区分

他の群落は、正解率が10%未満と低かった。面積率が大きい群落ほど、正解率が高い傾向もみられ、これは、面積率が大きい程、群落の教師データが多いことを反映したものである。

一方、面積率が2番目に大きいエゾオオヤマハコベクサヨシ群落の正解率は7.0%と低かったことから、判別には教師データ数以外の要因も関係しているものと考えられる。

c) 再分類区分の判別状況

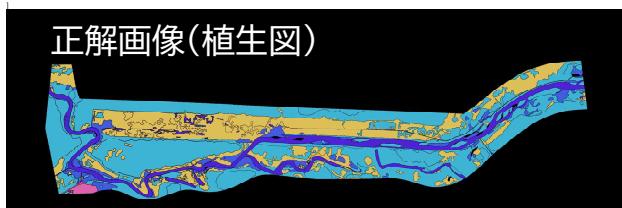
AIによる再分類区分の判別状況を図-7に、AIによる再分類区分の正解率を表-4に示した。

AIによる再分類区分を視覚的にみると、右岸直線河道埋立部の湿原植生が全般的に小さく判別されている以外

認識画像



正解画像(植生図)



認識結果 正解率:77.9%

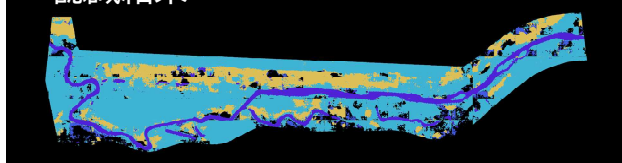


図-7 AIによる再分類区分

表-4 再分類区分の正解率

No.	再分類区分	正解率 (%)	被認識率 (%)	面積率 (%)
1	湿原植生	66.6	4.6	50.7
2	樹木	91.6	2.2	1.3
3	その他植生	5.7	13.8	33.6
4	人工構造物	0.0	62.4	0.8
5	開放水面	83.0	1.7	13.5
	範囲全体	77.9	3.9	100.0

は、比較的良好に植生分布を再現できていると考える。

再分類区分の正解率では、範囲全体で77.9%と良好に区分できていることが示された。

一方、その他植生および湿原植生の正解率が低い傾向にあった。これらはいずれも草本植生であるため、草本植生が今回の学習パターン等では、判別しづらいものと推察される。

5. 新技術を活用した効率化について

UAV3Dレーザーによる樹木調査（表-5上段）、マルチスペクトルセンサーによる植生活性度調査（表-5中段）、AIを活用した植生区分（表-5下段）について、従来法との作業工数の比較を行った。

UAV3Dレーザーによる樹木調査は、従来法に比べ1/3以下の作業工数となった。特に現地作業は、従来法では24時間かかるのに対し、UAV3Dレーザーでは4時間と1/6と非常に効率的であった。

マルチスペクトルセンサーによる植生活性度調査の合計工数は従来法の1/3程度であった。同工数は中島部全体のマルチスペクトル情報を取得する工数であり、調査面積で比較すると、従来法の5,400m²に対し、780,000m²と140倍以上となる。

表-5 各調査の工数比較

調査内容	延作業工数 (h)			
	従来法		UAV3Dレーザー	
	現地	内業	現地	内業
調査準備	—	2.0	—	4.0
ノイズ除去等の前処理	—	—	—	4.0
樹木位置平面図	24.0	8.0	4.0	4.0
樹高	24.0	8.0		4.0
小計	48.0	18.0	4.0	16.0
合計	66.0		20.0	
備考	現地2名/班		現地2名/班	

調査内容	延作業工数 (h)			
	従来法		マルチスペクトル	
	現地	内業	現地	内業
調査準備	—	2.0	—	2.0
枯死率調査	42.0	4.0	—	—
アクセス・地点間移動	9.0	—	—	—
NDVI調査	—	—	8.0	12.0
小計	51.0	6.0	8.0	14.0
合計	57.0		22.0	
備考	現地2名/班		現地2名/班	

調査内容	延作業工数 (h)			
	従来法		AI	
	現地	内業	現地	内業
調査準備	—	2.0	—	—
判読素図作成	—	4.0	—	—
現地調査	32.0	4.0	—	—
植生図作成	—	16.0	—	40.0
小計	32.0	24.0	0.0	40.0
合計	56.0		40.0	
備考	現地2名/班			

マルチスペクトルセンサーによる調査は従来法と比較して膨大な情報が取得可能である。

AIを活用した植生区分では、合計工数で従来法の約7割となったが、教師データ等が蓄積されれば、工数は更に少なくなると想定される。

5. 今後の課題と展望

本報告では、UAV3Dレーザーによる樹木調査、マルチスペクトルセンサーによる植生活性度調査およびAIを活用した植生区分について報告した。いずれも効率化・高度化の実現に大きく寄与するものであり、今後の技術革新によって、更なる効率化・高度化も確実なものと考えられる。

UAV3Dレーザー測量では、太さのデータや樹木の位置情報については、LiDAR スキャナ搭載iPhoneおよびiPadを活用して、容易に計測・マップ化可能な無料アプリ（ForestScanner、森林総合研究所）も出ていることから、これらをUAV3Dレーザーと並行して活用することで、更なる効率化も可能と考える。

マルチスペクトルセンサーによる植生活性度の調査で

は、本調査によって広域の経年的なデータが蓄積され、植生指数の低下が示唆された。これが一過性の低下であるのか、自然再生事業による効果によるものかを評価するため、更なるデータの蓄積が望まれる。

AIを活用した植生区分では、水辺の国勢調査レベルの群落区分には、まだ、適用が難しいとも考えられるが、大まかな区分（再分類区分）では、全体で8割近い正解率が得られており、ある程度の大まかな区分は実用レベルにほぼ達していると考えられる。また、水辺の国勢調査の植生図作成調査は、判読素図作成、現地調査の順に進められるが、判読素図作成も既往調査データが無い場所では、作業工数が多く、効率化が望まれる項目である。今回の調査結果から、判読素図レベルでは十分な植生区分が出来ていると判断されるため、今後はまずはAIを活用し判読素図作成を自動化して、それを人の目で現地調査で確認するという方向性が望ましいと考える。

上記のいずれの新技术についても既往報告で複数挙げられているように、機器・解析ソフトの初期投資、これらを活用する人材育成、取得される膨大なデータの保存・利活用・取得データの精査等が課題である。近年は3DレーザーやUAVのように技術が一般化することで価

格が低下している機器も一部で見られるが、解析ソフトの単価は依然として高いものが多い。また、その更新費用も1ライセンス当たり数十万円単位とDXを更に推進していく上で課題となっている。

国内では、DXの取組みが本格化されているため、釧路湿原の環境調査においても本報告で紹介した新技术を含め更なるDXの促進に取り組んでいきたい。

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) Liang-Chieh Chen, Yukun Zhu, George Papandreou, Florian Schroff, Hartwig Adam (2018) Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation. Computer Vision – ECCV 2018: 833–851.
- 3) 牧野司 (2020) リモートセンシングおよびGISによる草地・飼料作物畑の生産性評価および管理技術の開発とその普及指導. 北海道畜産草地学会報, 7: 1-6.
- 4) Shinichi Tatsumi, Keiji Yamaguchi, Naoyuki Furuya (2022) ForestScanner: A mobile application for measuring and mapping trees with LiDAR-equipped iPhone and iPad. Methods in Ecology and Evolution : DOI: 10.1111/2041-210X.13900.