

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

衛星画像を用いた釧路湿原の効率的な 植生モニタリング手法の検討 —大規模出水後の湿原植生の変化—

釧路開発建設部 治水課 ○後藤 裕二
稲垣 乃吾

日本工営株式会社 衛星情報サービスセンター 野間口 芳希

釧路開発建設部では、釧路湿原自然再生に係る様々な環境調査を行っている。近年、高解像度の光学衛星画像を比較的容易に入手できるようになり、衛星画像を活用したモニタリングを令和3年度から実施している。本報告では、衛星画像の活用により、平成28年度に発生した大規模出水後の湿原植生の影響検討及びモニタリング調査の効率化について報告するものである。

キーワード：環境調査、衛星画像、釧路湿原、ハンノキ林

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た。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。同湿原は農地などの土地利用の拡大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、河道の直線化による冠水頻度の減少、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、ヨシやスゲ類の占める湿原がハンノキ林の広く分布する湿原に変化し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」に基づき、茅沼・幌呂・久著呂・ヌマオロ地区で様々な自然再生事業を進めている。



図2-1 出水時の釧路湿原

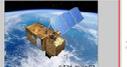
また、同自然再生事業の評価や2016年8月の大規模出水の影響把握のため様々な環境調査を実施しており、調査自体の環境負荷を低減しつつ、効率化・高度化する方法として新技術の活用を積極的に行ってきた。本報告では、近年高解像度の光学衛星画像が比較的容易に入手可能になったため、衛星画像を活用した出水による湿原への影響及びモニタリング調査の効率化について検討した。

2. 検討概要

2016年8月17日から23日の1週間に3つの台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により各所で河川の氾濫や堤防など河川管理施設に被害が発生した。釧路湿原でも大規模な出水が発生し、湿原内に試算で約2.1千万 m^2 の貯水効果があった(図2-1)。これらの出水が湿原内の植生に与えた影響を把握するため、植生変化の指標としてハンノキ林を対象に、衛星画像を用いたハンノキ林領域推定並びにその推定精度向上の検討を実施した。

なお、使用する衛星は、従来植生判読に用いられていたLandsatやSentinelなどの無償衛星もあるが、解像度がより高く、比較的安価かつ高頻度撮影(毎日)が特徴であるPlanetScope(Dove)を選定した(表2-1)。

表2-1 使用する衛星の比較

衛星名	Landsat	Sentinel	PlanetScope	Worldview
外観				
運用機関	USGS/NASA(米)	ESA/EC(欧)	Planet(米)	Maxar(米)
解像度	30m(8号機) ~80m(1号機)	10m	3m	0.3m
撮影頻度	16日	10日	毎日	約4.5日
アーカイブ性	1972年~(1号機) 2013年~(8号機)	2015年~	2016年~	2014年~
費用*	無償	無償	有償 (約300 km^2 :588,000円)	有償 (約300 km^2 :4,200,000円)

*費用は2023年12月時点の価格から算定

3. 衛星画像を用いたモニタリング検討

本章では、はじめに、衛星画像を用いたハンノキ林推定モデルを構築する際に必要な教師データ作成のため、ハンノキ林領域の判読を行った。判断に使用した画像はGoogle Earthを用い、被雲のない2019年撮影の画像を使用した。また、判読範囲は湿原内を部分的に切り出した合計約32km²とし、技術者が色調、テクスチャ等をもとに判読した結果、約32km²の判読範囲において約13km²のハンノキ林領域を得た。(図3-1)

これらの判読結果(教師データ)を使用し、ハンノキ林推定モデルを構築した。具体的には、衛星画像情報の4バンド(赤、青、緑、近赤外)からヒストグラム平均値と分散を算出し、閾値を設定した。ハンノキ林の推定を行う際は、教師データ作成時に使用した衛星画像は使用せず、同時期に別途撮影された衛星画像を使用した。

これらの構築した衛星画像によるハンノキ林推定モデルを用いて、釧路湿原全域を対象に、湿原内のハンノキ林領域を推定した。また、別途実施した業務成果の植生図と比較することで、精度検証を実施した。その結果、推定されたハンノキ林領域は概ね一致していることが分かった。

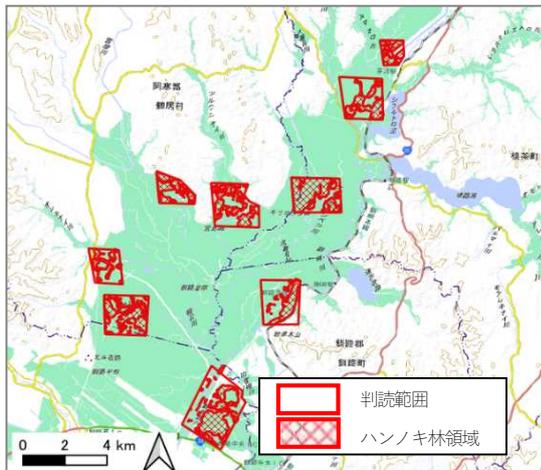


図3-1 ハンノキ林領域の判読結果

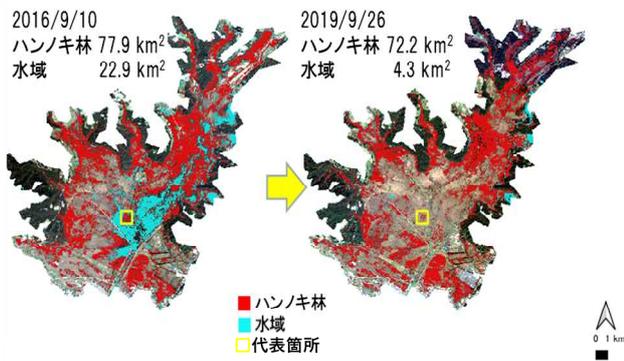


図3-2 ハンノキ林領域の推定結果

また、2016年9月の湿原全域の推定結果では、ハンノキ林領域77.9km²、水域22.9km²と推定された(図3-2)。さらに、変化状況の把握のために行った2019年9月における湿原全域の推定結果では、ハンノキ林領域72.2km²、水域4.3km²と推定され、3年間でハンノキ林5.7km²、水域は18.6km²減少が推定された。水域の減少は2016年8月出水の影響がなくなったためと考えられる。ハンノキ林が減少と推定された代表箇所(約2km²)では、2016年は0.35km²、2019年は0.13km²と推定された(図3-3)。

次に、図3-2に示したハンノキ林の減少が顕著であった代表箇所を対象に、2016年から2021年の経年的な変化の把握を試みた。このような長期的な変化を見る上で、時期によって植生繁茂度合いの差が推定結果に影響を及ぼす可能性が示唆されたため、各年同時期(9月)における6年間(2016年~2021年)の経年変化を推定した(図3-4)。その結果、出水直後の2年間(2017年、2018年)は微増傾向、その後の3年間(2019年、2020年、2021年)は減少傾向となり、長期的な傾向として、ハンノキ林は減少傾向の可能性を確認した。

本章の結果から、年により多少のばらつきがあるため、経年変化把握の際は、長期的な傾向を捉えることが重要であると示唆された。また、これまで調査・把握が困難であった広域な湿原内(約300km²)のハンノキ林分布を効率的に把握する手法として、衛星の活用は有効であることが考えられた。さらに、大規模出水後、直近2年ではハンノキ林の微増を確認したが、長期的な傾向としては減少傾向の可能性を確認出来た。

今後、衛星解析を継続して実施する場合、同条件で実施すること(同様の推定モデルを活用)、長期的かつ同時期の変化傾向把握の必要性が示唆された。また、衛星解析のみによるハンノキ林の変化把握の断定は困難なため、現地調査による精度検証を実施した上で、衛星解析の妥当性を評価する必要がある。

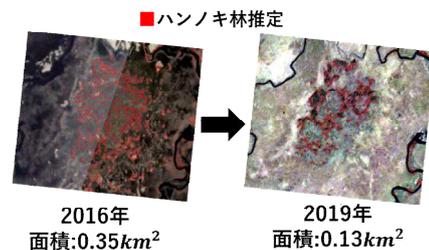


図3-3 代表箇所 比較結果



図3-4 代表箇所のハンノキ林経年変化

4. 精度向上検討

前章のハンノキ林領域推定結果の精度向上のため、本章では、PlanetScope(SuperDove)を使用した検討を行った。SuperDoveは、Doveに比べてバンド数の増加や波長分解能(バンド帯域)の向上が挙げられる。検討には、SuperDove本来の8バンド及び代表的な4バンド(Doveとの比較用)を使用した2ケースで実施した。

前章の推定結果とUAVによるハンノキ林領域の比較の結果、誤抽出が見られた代表的な2箇所を試行解析の検証エリア(約1.4km×1.6km)として設定した(図4-1)。前章と同様に推定モデルを構築するため、高解像度衛星のSkySat(解像度:0.5m)を使用した目視判読から、教師データを作成した。

推定モデルは、教師データで作成したハンノキ林領域において、各バンドの画素数値の分布を示すヒストグラムから画素値の平均値、標準偏差を算出し、ハンノキ林領域とみなす閾値を決定した。試行解析は、抽出条件①としてArea1を教師エリア、Area2を推定エリア、抽出条件②としてArea2を教師エリア、Area1を推定エリアとした(表4-1)。

またこの際、それぞれ4バンド、8バンドの2ケースでハンノキ林推定を行い、各推定結果において定性、定量評価を実施した。定性評価は各ハンノキ林領域の抽出結果に対して、見た目上の空間分布の類似による評価、定量評価は、表4-2に示す機械学習等で用いられている精度評価の指標の適合率(Precision)、再現性(Recall)、F値(F1-score)にて評価を行った。

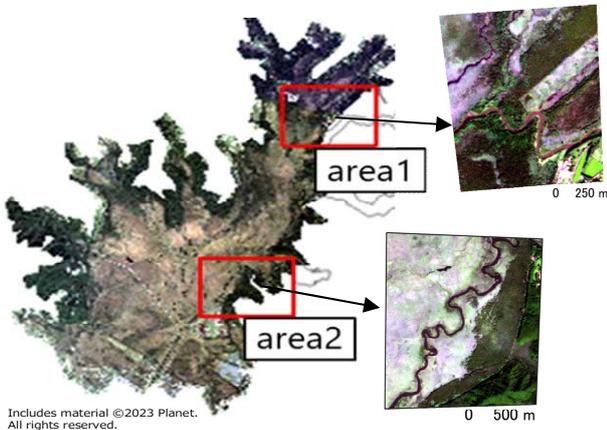


図4-1 試行解析の検証エリア

表4-1 ハンノキ林領域の抽出条件

種別	教師エリア	推定エリア	バンド数(モデル)
抽出条件①	Area1	Area2	4
	Area1	Area2	8
抽出条件②	Area2	Area1	4
	Area2	Area1	8

抽出条件①、②で定性評価を行った結果を図4-2、図4-3に示す。目視判読結果のハンノキ林領域の空間分布に対して4バンド、8バンド結果ともに概ね等しい結果が見られた。ただし、抽出条件②において、一部箇所(図内白枠)で抽出漏れが見られた。この要因としては、推定エリアとしたArea1のハンノキ林抽出漏れ箇所と同様の値を持つデータが教師エリアとしたArea2に存在しなかったことが挙げられる。

前章の推定結果(Doveの4バンド)との比較では(図4-4、図4-5)、前章の抽出漏れ箇所において、本章の結果では抽出漏れがなく、正しく抽出されていた。この結果、推定モデルの精度向上には、4バンドから8バンドのバンド数増加による影響よりも、波長分解能の向上(画像品質の向上)が起因していることが考えられる。

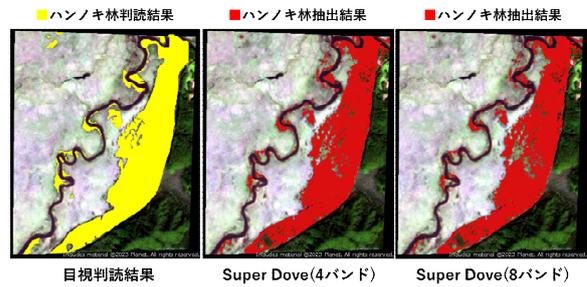


図4-2 目視判読結果と推定結果比較(抽出条件①)

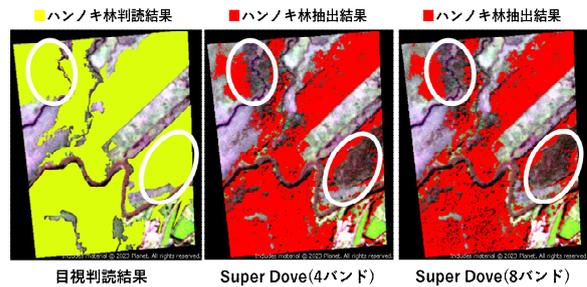


図4-3 目視判読結果と推定結果比較(抽出条件②)

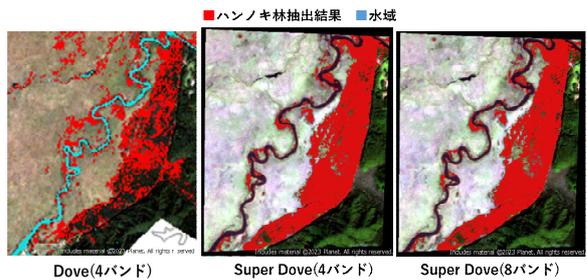


図4-4 DoveとSuperDoveの推定結果比較(抽出条件①)

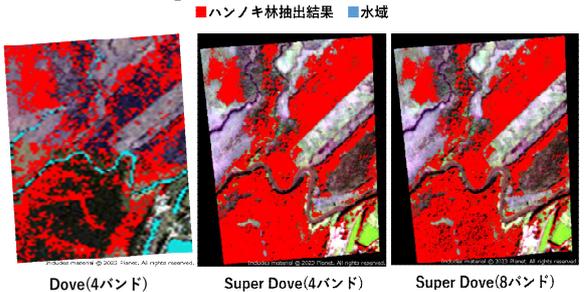


図4-5 DoveとSuperDoveの推定結果比較(抽出条件②)

次に定量評価の結果を表4-3、表4-4に示す。抽出条件②において再現率が約60%と若干低い傾向が見られたが、適合率は抽出条件①、②ともに約90%の値が得られているように、試行した検証エリア2箇所において、SuperDoveによるハンノキ林領域抽出の精度向上が見込まれた。

試行した検証エリアと同様の推定モデル、手法を用いて釧路湿原全域におけるハンノキ林領域の推定、精度検証を実施した。ハンノキ林領域の教師データ作成は、検証エリア時と同様に高分解能衛星のSkySatを使用し、目視判読により作成した(図4-6)。また、教師データの作成範囲は、釧路湿原全域において偏りなく8箇所の教師エリア(Area2~9)とした。また、検証エリアとして、別途Arealとして設定し、4バンド、8バンドの2パターンで、ハンノキ林領域の抽出を行い、試行解析時と同様に、定性、定量評価を行った。

表4-2 定量評価の指標

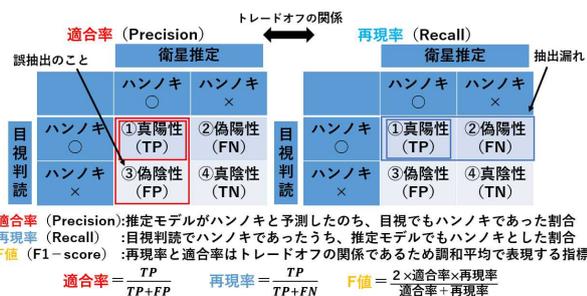


表4-3 定量評価結果 (試行解析 - 抽出条件①)

種別	真陽性 (TP)	偽陽性 (FN)	偽陰性 (FP)	真陰性 (TN)	適合率 (Precision)	再現率 (Recall)	F 値 (F1-score)
4 バンド	11,327	1,931	1,270	49,176	89%	85%	87%
8 バンド	10,906	2,351	1,107	49,332	90%	82%	86%

表4-4 定量評価結果 (試行解析 - 抽出条件②)

種別	真陽性 (TP)	偽陽性 (FN)	偽陰性 (FP)	真陰性 (TN)	適合率 (Precision)	再現率 (Recall)	F 値 (F1-score)
4 バンド	10,678	5,544	859	11,447	92%	65%	76%
8 バンド	10,128	6,094	743	11,563	93%	62%	74%

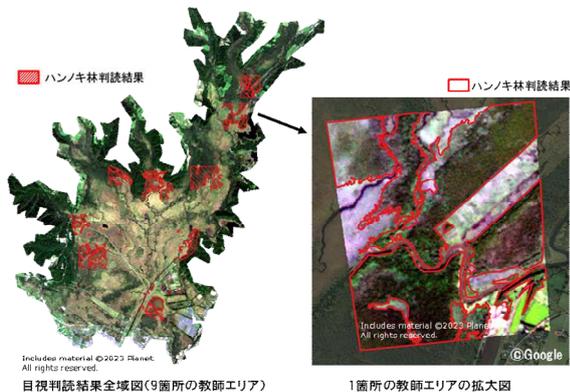


図4-6 教師データ作成範囲 (目視判読結果)

4バンド、8バンドモデル抽出結果の定性評価では、目視判読結果のハンノキ林領域の空間分布に対して、両バンドの結果とも概ね等しい結果が得られた(図4-7、図4-8)。ただし、試行解析時と同様に一部、過抽出や抽出漏れが見られた。また、8バンド結果では4バンド結果に比べて比較的抽出漏れが多く見られた。

定量評価の結果について表4-5に示す。適合率は試行解析時と同様に高い値で約80%、再現率は約70%~80%であり、試行解析時(抽出条件②)に比べてやや上昇していた。

誤抽出、抽出漏れが見られた代表箇所の4バンド抽出結果例を図4-9、図4-10に示す。誤抽出箇所の画素値分布では、目視判読結果(教師データ)と誤抽出箇所の4バンド情報は同様の画素値分布を示し、抽出漏れ箇所の画素値分布では、近赤外バンドのみ異なる傾向を示した。

最後に、これまでの業務において推定された釧路湿原全域の経年的なハンノキ林の空間分布を図4-11に示す。過去2年(Dove使用)と2022年(SuperDoveの4バンド使用)では、使用衛星が異なる等、同条件の比較ではないため、一概に比較はできない点に留意する必要がある。そのため、推定されたハンノキ林面積の差は、抽出条件の違いによる誤差の可能性があること、また、出水から10年未満と短期間であることから、これらの結果のみではハンノキ林の増減傾向の判断は困難であることが考えられた。よって、今後はこれらの検討結果を活用し、同一条件かつ長期的なモニタリングを継続する必要がある。

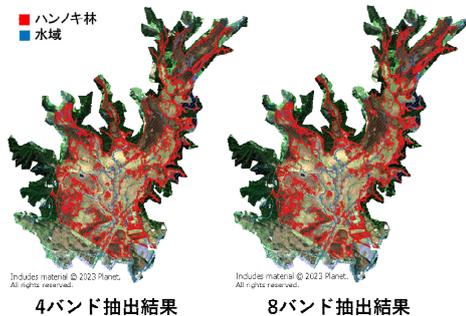


図4-7 推定モデル結果 (釧路湿原全域)

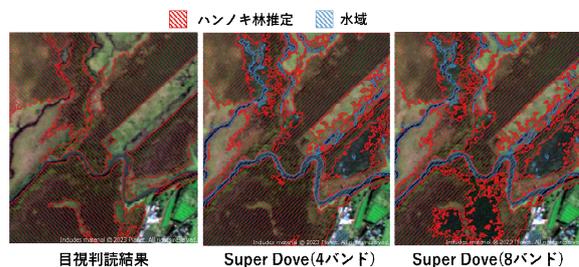


図4-8 目視判読結果と推定モデル結果の比較

表4-5 定量評価結

種別	真陽性 (TP)	偽陽性 (FN)	偽陰性 (FP)	真陰性 (TN)	適合率 (Precision)	再現率 (Recall)	F 値 (F1-score)
4 バンド	16,459	3,785	3,915	10,400	81%	81%	81%
8 バンド	13,990	6,253	3,227	11,089	81%	69%	74%

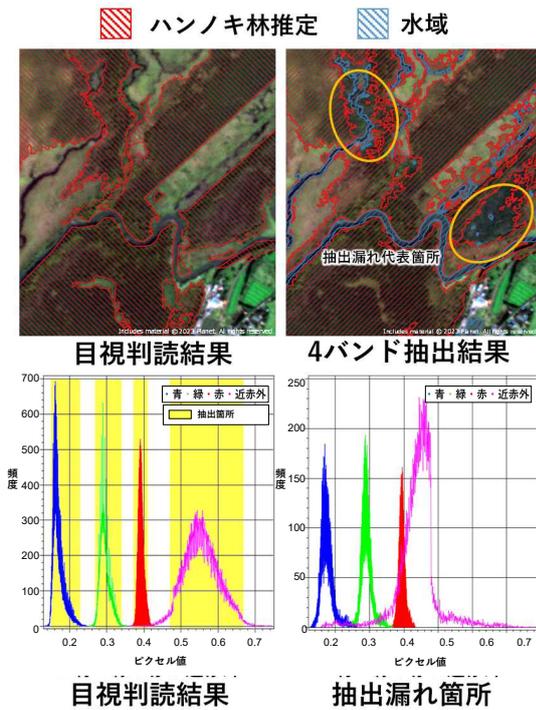


図4-9 抽出漏れ箇所の空間分布と画素値分布

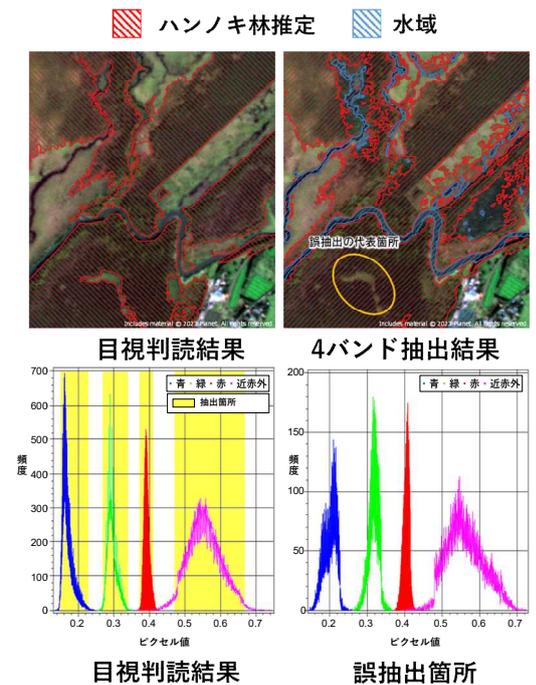


図4-10 誤抽出箇所の空間分布と画素値分布

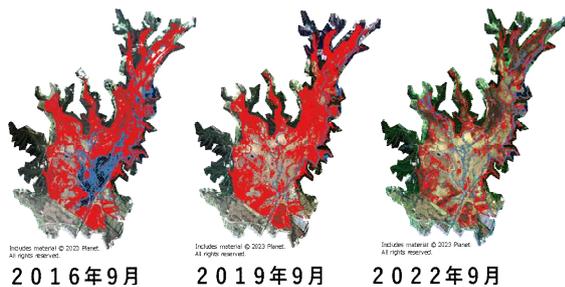


図4-11 衛星解析によるハンノキ林の分布（湿原全域）

本章では、試行解析として、検証エリア2箇所において、前章での結果（Dove使用）等に比べて、SuperDove使用によるハンノキ林抽出の精度向上が見込まれたため、釧路湿原全域で同様の推定を実施した。2ケース（SuperDoveの4バンドと8バンド）の精度評価の結果、適合率、再現率共に一定の抽出精度でハンノキ林を推定することが出来た。

2ケース（SuperDoveの4バンドと8バンド）の精度評価結果の差異としては、顕著な差はみられなかったが、4バンドの方がより、再現率が高い傾向がみられた。この要因としては、今回の推定に活用したような物理モデル（教師データから各バンドの固定の閾値を決定）による抽出では、使用バンド数の増加に比例し、理論上ハンノキ林領域推定の制限要素が増加することが考えられた。

一方で、図4-4.5でSuperDoveの4バンド結果（本章結果）とDoveの4バンド結果（前章結果）を比較したところ、前章で抽出漏れがあった箇所も正しく抽出され、結果に顕著な差異がみられておりSuperDoveの使用により、大幅な抽出精度の向上を確認することができた。この要因として、同じ4バンドの情報においてもDoveからSuperDoveに変わったことによる波長分解能の向上（画像品質の向上）が大きく起因していることが考えられた。よって、次世代衛星（SuperDove）の活用によるハンノキ林分布推定の有用性を確認することができた。

5. 今後の課題と展望

本報告では、2021年から2022年度にかけて衛星画像を活用した、大規模出水後の湿原植生の影響把握及び、モニタリング調査の効率化検討を行った。

大規模出水後の影響把握として、指標となるハンノキ林のモニタリングを釧路湿原全域で行ってきた。結果としては、局所的にハンノキ林の増減箇所があり、衛星解析結果のみでは出水の影響を判断できず、変化要因の分析のために現地調査を併用するなどして、今後も長期的なモニタリング調査の必要性が示唆された。衛星画像を用いたモニタリング調査の効率化検討の結果としては、十分な有用性を確認することができ、湿原環境の変化状況を把握するための手法として非常に有効であることが実証されたと同時に、ハンノキ林分布の推定手法である物理モデルによる課題を確認した。図4-10のようなハンノキ林分布箇所とハンノキ林以外の森林箇所において、同様の画素値分布を持つ場合、ハンノキ林分布の抽出時に誤抽出が散見された。このようなケースでは、物理モデルによる抽出の場合、正解箇所と不正解箇所（誤抽出）を分離して抽出することは理論上困難である。そのため、与えられた情報に対して、ハンノキ分布を抽出する条件（閾値）を無数に作成し、物理モデルに比べてより柔軟性を持った抽出を可能にする機械学習モデル（ランダムフォレスト等）の活用が今後の更なる精度向上の改善策として挙げられる。

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)