

衛星画像データを用いた機械学習による 河道内地被分類の自動判読技術の開発

にしまたじゅんいち のうみすすむ かげやまけんたろう もりやひろたか
西俣淳一¹・能美享²・陰山建太郎²・守屋博貴²・メン ヴッティエ²

¹日本工営株式会社仙台支店（〒980-0803 宮城県仙台市青葉区国分町3-1-11）

²日本工営株式会社（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

近年各地で河川災害が発生しており、河川管理の重要度が上がっている。特に、河道内の樹木繁茂や土砂堆積は、洪水時の水位上昇に影響するため、河道内の状態把握や流下能力の維持が増々重要となっている。しかし、自治体管理河川では費用や人手不足の理由から植生調査や測量が実施されていない例も多く、河道内状況の自動把握や管理費の低減のニーズは増々高まっている。本研究では河道内植生の自動判読を目的に、近年高頻度かつ安価に入手できる衛星画像を用い、機械学習による面的な地被分類の自動判読を行った。自動判読結果は、植生調査結果と90%程度一致し、未調査の河川においても草本や高木の分類を再現できていることを確認した。

Key Words : 衛星画像, 地被分類, 機械学習, 河道管理, 樹木管理

1. はじめに

近年日本全国各地で毎年のように、豪雨に伴う河川災害が発生している。このような中、河川管理者は適切に河川を管理し、改修時に目標とされた河道流下能力を維持し続けることが重要である。

河道内の樹木は、河川の生態系の維持に必要な不可欠な一方で、洪水流下阻害や局所流による堤防の損傷、流木発生、滞筋固定による河積阻害などの要因となる。そこで、流下能力を維持する観点から樹木を管理し、現状の河道内の樹木の状態を適切に把握したうえで、樹木の経年変化も踏まえて伐採計画を作成し、計画的に樹木を伐採することが重要である。

現状の国管理河川における、河道内の樹木に関する状態把握は、5年に1度実施される河川水辺の国勢調査とこれをベースに抽出された代表箇所のに1度の概況把握が実施されている。なお、伐採計画についてはおおそ5年に1度の頻度で見直しがされているが、出水の有無などを考慮した計画とはなっていない。また、自治体管理河川においては伐採計画の見直しが不十分な場合が多い。

以上より、河道内の地被状態を、①面的に、②頻度高く、③安価に把握し、流下能力の評価、必要に応じて対策を行うPDCAサイクルに基づく河川管理を行うことが必要である。

そこで、本研究では近年高頻度かつ安価に入手できる衛星画像を用い、機械学習による面的な地被分

類の自動判読技術の開発を行った。

衛星やUAVによって撮影された画像を基に、機械学習によって河道内の樹木を判読する方法は既往の研究でも報告されている^{1),2)}。しかし、主に単独河川の一部区間を対象としてUAV写真測量成果を用いているため、広範囲の把握には適さない。また、衛星画像のみを用いた手法では、河道内の植生のみに着目しているため³⁾、数10kmに渡る河川における河道内の水域や裸地の把握を、安価かつ高頻度に把握する方法は十分に検討がされてない。

そのため、本研究では、複数時期の衛星画像データを用いて、機械学習により数10kmの河川の河道内地被分類の自動判読技術を開発した。また、植生調査を実施していない河川を対象に自動判読を試行し、有効性を確認した。

なお、本研究の一部は国土技術総合研究所の河川砂防技術研究開発による委託研究で実施した成果である。

2. 自動判読手法

機械学習のアルゴリズムにはランダムフォレストを用いて、河道内地被分類の自動判読を行った。ランダムフォレストは決定木と呼ばれるある特徴量を閾値で分岐させる分類木を大量に組み合わせる手法である。本研究で用いた解析フローを図-1に示す。

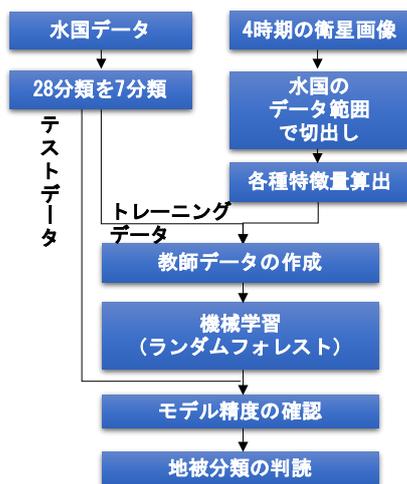


図-1 解析フロー

(1) トレーニングデータ

本解析では衛星画像の各メッシュに対し、既往の河川水辺の国勢調査の植物調査結果を正解データとして使用した。河川水辺の国勢調査は河川における植物の生育状況を把握することを目的とし、植生基本分類は単子葉草本群落の中でも、詳細に分類されており、全部で28分類（その他、不明を除く）された群落として整理されている。

一方、河川の水理解析では、植生は粗度や樹木群（死水域）として表現されるため、詳細な植物の種類までの判読は必要としない。そのため、本研究では表-1に示す通り、河川水辺の国勢調査の28分類の群落を①草本、②低木、③高木、④竹林、⑤その他植生、⑥裸地、⑦水面の7分類に変換し、検討を行うこととした。

表-1 分類項目

水国 28分類	本検討7分類	水国 28分類	本検討7分類
1 沈水植物群落	①草本	15 落葉針葉樹林	③高木
2 浮葉植物群落	①草本	16 常緑広葉樹林	③高木
3 塩沼植物群落	①草本	17 常緑針葉樹林	③高木
4 砂丘植物群落	①草本	18 植林地(竹林)	④竹林
5 一年生草本群落	①草本	19 植林地(スギ・ヒノキ)	③高木
6 多年生草本群落	①草本	20 植林地(その他)	③高木
7 単子葉草本群落_ヨシ群落	①草本	21 果樹園	③高木
8 単子葉草本群落_ツルヨシ群落	①草本	22 畑	⑤その他植生
9 単子葉草本群落_オギ群落	①草本	23 水田	⑤その他植生
10 単子葉草本群落_その他	①草本	24 人工草地	⑤その他植生
11 ヤナギ低木林	②低木	25 グラウンド等(ゴルフ場)	⑤その他植生
12 ヤナギ高木林	③高木	26 人工構造物	⑥裸地
13 その他の低木林	②低木	27 自然裸地	⑥裸地
14 落葉広葉樹林	③高木	28 開放水面	⑦水面

(2) 衛星画像

衛星技術は近年大きく進化しており、解像度、撮影頻度が異なる多種多様な衛星が宇宙空間を飛び交っている。本研究ではより撮影頻度が高く、安価に入手可能な光学衛星画像Planet Doveを用いた。Planet Doveの概要および撮影画像を表-2、図-2に示す。

(3) 特徴量

特徴量は、各衛星画像の可視波長であるRGB情報

表-2 Planet Doveの概要

使用した衛星	Planet Dove
特徴	130機以上（2019年1月現在）の小型衛星群で全地球を常時撮影
撮影頻度	概ね1日1回 ※光学衛星のため、曇天、夜間の撮影は不可
解像度	約3m
アーカイブ	2017年以降のデータを蓄積 ※新規のリクエスト撮影も可能
価格	約1,700円/km ² ※最低購入価格設定あり、円安等の社会情勢により多少変化



図-2 4時期の衛星画像の一例

（可視域赤，緑，青の波長）と、植物の反射率が高いNIR（Near-infrared：近赤外線値）に加えて、季節毎の植生の繁茂状態を把握できる指標としてNDVI（Normalized Difference Vegetation Index：正規化植生指標）、水域の把握にNDWI（Normalized Difference Water Index：正規化水指標）、草本との差を把握するためのBSI（Bare Soil Index：裸地化指数）の計7個×4時期の28個とした。NDVI、NDWI、BSIは以下に示す数式（1）～数式（3）により算出を行った。

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (2)$$

$$BSI = \frac{((Red + Blue) - Green)}{((Red + Blue) + Green)} \quad (3)$$

Red, Green, Blue：可視域赤，緑，青の波長

3. 結果と考察

(1) 植生調査実施済み河川の判読

a) 対象河川

対象河川は、国管理河川のA川（中国地方）で実施した。A川では、平成31年に植生調査（河川水辺の国勢調査）が実施されているため、調査時期に合わせた4時期の衛星画像を使用した。

b) 判読結果

判読精度を表-3に、河川水辺の国勢調査と自動判読による地被分類の比較を図-3に示す。表-3の各値

は、縦軸の河川水辺の国勢調査による地被分類の内、横軸の自動判読による面積が一致した割合を示す。全体の自動判読精度は90.53%であり、概ね精度よく判読ができていると判断できる。草本の割合に着目すると、河川水辺の国勢調査によって草本と分類された面積の90%が自動判読でも草本と分類された。

対して、相対的に判定精度が低いのは、低い順に裸地、高木林、低木林であり、これらは自動判読においては、草本と誤判読されていることが分かる。草本と低木、高木は画像上のRGB値が近しいために、誤判読が生じていると考えられる。また、その他に誤判読が発生する要因として、河川水辺の国勢調査が群落単位での調査となっているために群落内に独立して繁茂している別の植生を別の地被に判読していることや、河川水辺の国勢調査時と用いた衛星画像での水位によって水域と裸地の境界が異なることが確認できている。

(2) 植生調査未実施河川の判読

a) 対象河川

植生調査未実施河川の対象として、自治体管理のB川（九州地方）を対象とした。B川は植生調査が未実施のため、植生調査を実施している近隣の国管理河川のC川を対象に教師データを作成した。

b) 判読結果

解析結果と航空写真、現地状況の比較結果を図-4に示す。自動判読から低木林や草本と判読された範囲において、現地において同分類の植生が繁茂していることが確認でき、現地の植生分類および陸域と水域の境界も概ね一致して判読されていることを確認した。判読精度の定量的な評価方法や精度向上に

表-3 A河川の自動判読精度

河川水辺の国勢調査	判読結果						
	1.草本	2.低木	3.高木	4.竹林	5.その他植生	6.裸地	7.水面
1.草本	0.90	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
2.低木	0.19	0.70	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
3.高木	0.17	0.02	0.71	0.02	0.01	0.01	0.06
4.竹林	0.04	0.01	0.03	0.88	0.01	0.00	0.02
5.その他植生	0.05	0.00	0.00	0.00	0.93	0.01	0.00
6.裸地	0.20	0.01	0.02	0.00	0.03	0.69	0.05
7.水面	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.98

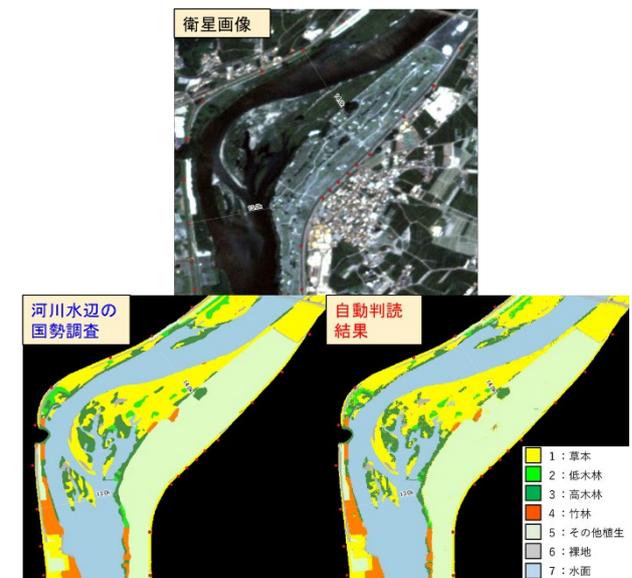


図-3 A河川の河川水辺の国勢調査と判読結果

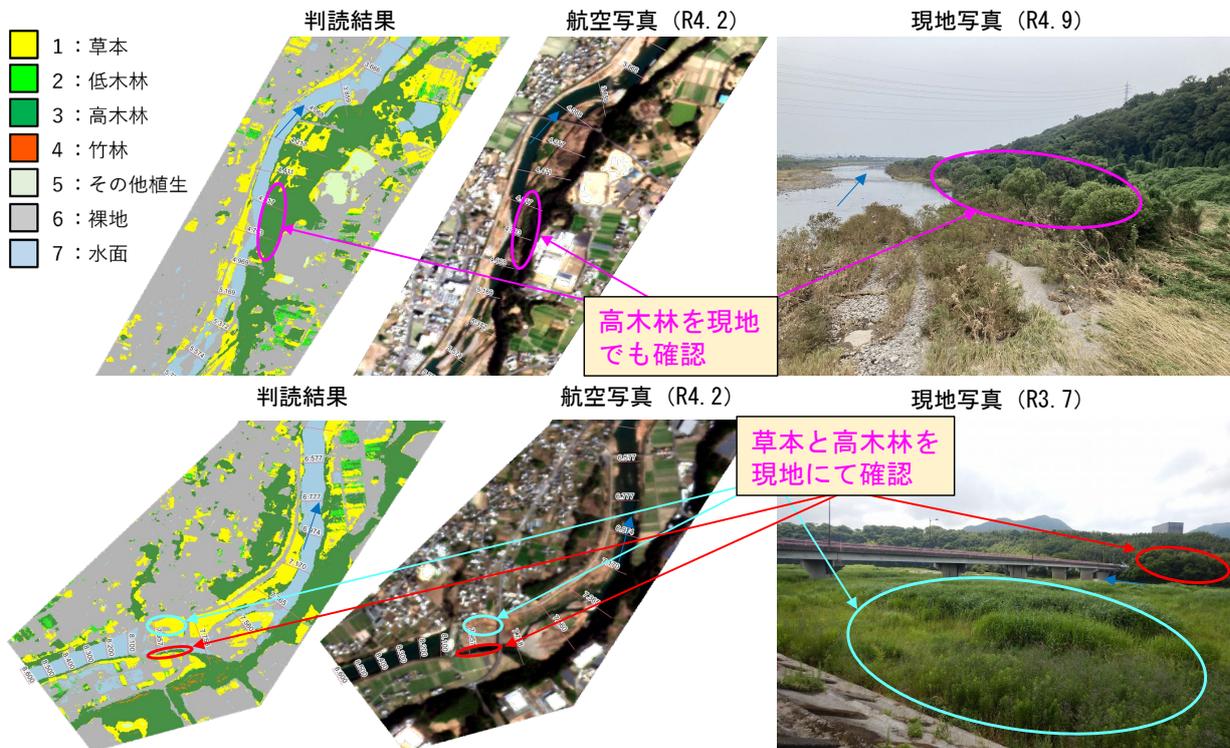


図-4 自動判読結果と航空写真・現地状況の比較

向けた検討が今後の課題である。

4. 本技術により期待される効果

本研究より、衛星画像を用いて機械学習を行うことで、河道内地被分類を概ね判読できることが示された。以下に本技術を用いることで、期待される効果を示す。

(1) モニタリングの省力化

従来の植生調査では、はじめに机上で空中写真を基に判読素図のベース図を作成、その後、現地確認を行い、地被分類の判読を行っている。本手法では、衛星画像の購入と解析費用のみで地被分類の判読が可能となり、判読粗図の作成や現地調査、地被分類などの技術者による作業が縮減可能であると考えられる。また、水系や河川内の一部箇所調査結果を用いた自動判読も可能であるとあると考えられるため、調査区間の縮小による省力化も期待される。

(2) モニタリングの高頻度化

河川水辺の国勢調査は5年に一度の頻度で実施されているが、本技術は衛星画像の購入のみで河道内のモニタリングが可能のため、年に1度のように高頻度な状況把握の実施が可能となる。また、出水後に河道内の滞筋の変化を簡易的に把握することが可能であるため、出水後の河道状態の把握にも活用が可能である。

(3) ミクロな視点での評価

現状、河川水辺の国勢調査などの調査は目視で実施されており、数十mオーダーの群落での評価にとどまっている。一方、本技術を用いることで、衛星画像の解像度 (Planet Dove : 3m解像度) に応じた評価を行うことができる。よって、前述のように、河川水辺の国勢調査が群落として評価をしている場

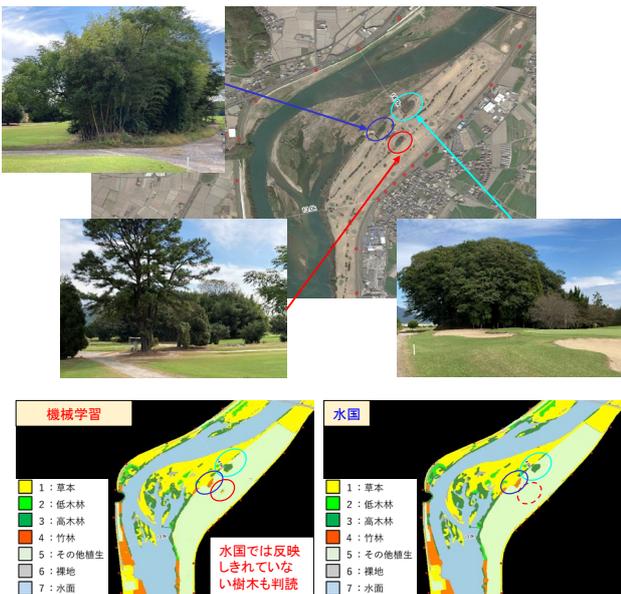


図-5 詳細な判読例

合や公園やゴルフ場として利用されている高水敷内の樹木の評価も可能となり、より正確な分類が可能となる。(図-5)

5. おわりに

本論文で得られた成果と今後の展望を以下に示す。

(1) 成果

- ① 衛星画像を用いて、機械学習を行い、河道内地被分類の自動判読を行う技術の検討を行った。本解析を国管理河川で試行し、河川水辺の国勢調査結果と判読結果を比較すると、約90%の解析精度が確保できており、一定の精度で自動判読が可能であることを示した。
- ② 既往の植生調査結果が無い自治体管理河川において、国管理河川で作成した教師データを用いて自動判読を行った結果、教師データの作成方法を工夫することで、河道内のおおよそその地被分類を再現可能であることを示した。

(2) 今後の展望

- ① 前回の河川水辺の国勢調査結果と同時期の衛星画像を用いて教師データを作成し、最新の河川水辺の国勢調査時の衛星画像を用いた解析を実施し、最新の調査結果を基に精度検証を行う。これにより、2時期比較での精度検証が可能となり、モニタリングへの適用性評価をより詳細に行うことができる。
- ② 河川水辺の国勢調査を実施している国管理河川において、水系や河川内の一部範囲を教師データに用いた自動判読を試行する。水系や河川内の地被分類の偏りを考慮した教師データに使用する範囲の抽出方法も検証し、更なる省力化に向けた開発を続ける。
- ③ 植生調査未実施の自治体管理河川では、河道モニタリングとして活用方法を検討し、植生の繁茂や河岸侵食の進行性を把握できる精度への改良を目指す。

謝辞：本研究の一部は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構との共同研究で実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤井純一郎, 吉田龍人, 天方匡純, 山下隆義 : UAV写真測量と深層学習を活用した河道管理手法の研究, AI・データサイエンス論文集, 巻(2020) J1号
- 2) 佐藤拓也, 岩見収二, 百瀬文人, 宮本仁志 : 複数時点の衛星画像を用いた機械学習による河川地被変化の検出手法, 河川技術論文集, 第26巻, 2020年6月
- 3) 宮脇成生, 伊川耕太, 鈴木研二, 鈴置由紀洋, 池内幸司 : 高解像度人工衛星画像とAIを用いた河川植生図作成手法の開発, 河川技術論文集, 第26巻, 2020年6月

