

高分解能衛星画像のオオカナダモ定量モニタリングへの利用

山口大学 創成科学研究科

学生会員 ○児玉 貴央

山口大学 創成科学研究科 教 授

正会員 赤松 良久

山口大学 創成科学研究科 特命 助教

正会員 宮園 誠二

1. はじめに

本研究の対象生物である南米原産の外来沈水植物オオカナダモ *Egeria densa* は、低水温や水質汚濁に耐性を持ち、切れ藻による無性生殖を行うなど高い繁殖能力を持つ。これらの生態的特性によりオオカナダモは、本川だけでなく支川を含めた流域内において、広域に大規模な群落を形成しており、日本の多くの河川において河道閉塞や河川景観の悪化など様々な問題を引き起こしている。

これらの背景から、オオカナダモの異常繁茂による河川環境への影響を軽減するため、本種を駆除することが求められる。それには、流域内の広域に生息するオオカナダモの繁茂状況を、効率的に把握できるモニタリング手法の構築が必要となる。近年、航空機や人工衛星を用いて地表面の情報（植生、地形など）を広域的に取得可能なリモートセンシング技術が注目されている。先行研究において、オオカナダモの繁茂状況のモニタリングに対する UAV（Unmanned Aerial Vehicle；無人航空機）の有効性について検討されているものの^{1)・2)}、人工衛星を用いて河川内におけるオオカナダモの繁茂状況を定量化した研究例はみられない。そこで本研究では、一級河川江の川の土師ダム下流区間におけるオオカナダモの繁茂状況を、UAV 空撮画像及び衛星画像から定量化し、それぞれの定量結果を比較することでオオカナダモ定量モニタリングに対する衛星画像解析の有効性について検討した。

2. 方法

(1) 研究対象区間及びデータ収集

調査区間は、オオカナダモの異常繁茂が報告されている一級河川江の川土師ダムから坂木川合流部までの約 30km とした（図-1）。現地調査では、調査区間内におけるオオカナダモの繁茂状況を定量化するため、2018 年 11 月 5 日に UAV（Phantom 4 Pro V2）を用いて

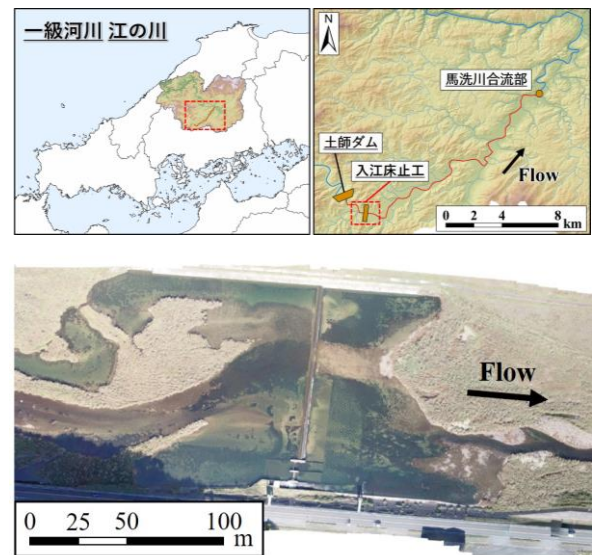


図-1 検討区間の UAV 空撮画像

河道内の空撮を行った。また、UAV を用いたオオカナダモの空撮結果と比較するため、空撮の直前に撮影された高分解能衛星画像（WorldView-2：2018 年 11 月 6 日撮影）を取得した。本研究では、オオカナダモが大規模な群落を形成している入江床止工周辺 400 m 区間を対象として（図-1）、UAV 及び人工衛星を用いたオオカナダモの空撮結果の比較を行った。

(2) UAV 空撮画像を用いたオオカナダモの定量化

UAV 空撮画像から検討区間内におけるオオカナダモを定量化するため、Agisoft Metashape を用いてオルソ画像を作成した。そして、ArcGIS 上でオルソ画像を参照し、検討区間内におけるオオカナダモ群落及び低水路の境界線をマニュアルでトレースすることで、オオカナダモ群落及び低水路ポリゴンを作成した。

(3) 衛星画像解析によるオオカナダモの定量化

本研究で使用した WorldView-2 は、MAXAR 社が提供する商用衛星である。本衛星は、一度の観測につき 1 枚のパンクロマティック画像（地上分解能：約 0.5 m）と 8 枚のマルチスペクトル画像（地上分解能：約 2 m）について撮影可能である（表-1）³⁾。本研究では、パン

キーワード オオカナダモ, 沈水植物, 外来種, 植生指標, 衛星リモートセンシング

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 機械・社建棟 7 階 B709 TEL0836-85-9339

クロマティック画像を合成することで高分解能化したマルチスペクトル画像（パンシャープン画像；地上分解能：約 0.5 m）を解析に用いた。

WorldView-2 により撮影された衛星画像から検討区間内におけるオオカナダモ群落を定量化するため、各ピクセルの植生指標を算出した。このとき植生指標の算出は、人工衛星に搭載されたセンサに依存した反射光の明るさを表す DN（Digital Number）値を反射率に変換した後に行った。WorldView-2 画像の DN 値を反射率に変換する式は以下に示すとおりである。

$$L = \frac{absCalFactor \cdot DN}{\Delta\lambda}$$

$$\rho = \frac{L \cdot d_{ES}^2 \cdot \pi}{E_{sun} \cdot \cos \theta_s}$$

L：放射輝度（W/m²/sr/nm），absCalFactor：補正係数， $\Delta\lambda$ ：有効バンド幅（nm）， ρ ：反射率（%）， d_{ES} ：地球太陽間距離（AU）， E_{sun} ：太陽放射照度（W/m²/nm）， θ_s ：太陽天頂角（°）を示す。衛星画像からオオカナダモ群落を定量化するための植生指標は、Normalized Difference Vegetation Index（NDVI），Green-Red ratio Vegetation Index（GRVI），Soil Adjust Vegetation Index（SAVI），Enhanced Vegetation Index（EVI），Red-Green-Blue Vegetation Index（RGBVI），Enhanced Normalized Difference Vegetation Index（ENDVI），Visible Atmospherically Resistant Index（VARI）の7つを用いた（表-2）。

これらの植生指標を用いて、衛星画像から検討区間内におけるオオカナダモ群落を定量化するため、各植生指標に対して閾値を設定した。閾値を設定するため、まずオオカナダモ群落上における各植生指標の値をそれぞれサンプリングした。そして、各植生指標のサン

表-1 WorldView-2 のバンド名と波長帯

バンド名	バンド番号	波長帯 (nm)
Panchromatic	—	450 - 800
Coastal Blue	1	400 - 450
Blue	2	450 - 510
Green	3	510 - 580
Yellow	4	585 - 625
Red	5	630 - 690
Red edge	6	705 - 745
NIR1	7	770 - 895
NIR2	8	860 - 1040

プルデータをもとにオオカナダモを反映すると考えられる閾値範囲を設定した。このとき閾値範囲は、以下の3通りとした。

- ① サンプルデータの平均±標準偏差
- ② サンプルデータの平均±標準偏差×2
- ③ サンプルデータの最小値から最大値

(4) データ解析

衛星画像解析によりオオカナダモ群落及び低水路を識別可能であるか検討するため、UAV 空撮画像及び衛星画像から定量化したオオカナダモ群落及び低水路を比較した。そのため、まず検討区間内の低水路を基準に 1 m 格子を作成した。そして、各格子内におけるオオカナダモ群落及び低水路の比較結果から、1 m 格子をオオカナダモ群落が合致した格子、低水路が合致した格子、UAV 空撮画像のみオオカナダモ群落が存在した格子、衛星画像のみオオカナダモ群落が存在した格子の4通りに分類した。最後に下式から、合致率（%）、過小評価率（%）及び過大評価率（%）を算出した。

合致率（%）

$$= \frac{\text{UAV 画像と衛星画像の判別が合致した格子}}{\text{低水路全体の 1 m 格子}}$$

表-2 オオカナダモの定量化に用いた植生指標 ※SAVI の補正係数 L'は 0.5 とした⁴⁾

植生指標	計算式
NDVI	$(\rho_{NIR1} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR1} + \rho_{Red})$
GRVI	$(\rho_{Green} - \rho_{Red}) / (\rho_{Green} + \rho_{Red})$
SAVI	$(1 + L') * (\rho_{NIR1} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR1} + \rho_{Red} + L')$
EVI	$2.5 * (\rho_{NIR1} - \rho_{Red}) / (1 + \rho_{NIR1} + 6 * \rho_{Red} - 7.5 * \rho_{Blue})$
RGBVI	$(\rho_{Green}^2 - \rho_{Red} * \rho_{Blue}) / (\rho_{Green}^2 + \rho_{Red} * \rho_{Blue})$
ENDVI	$(\rho_{NIR1} + \rho_{Green} - 2 * \rho_{Blue}) / (\rho_{NIR1} + \rho_{Green} + 2 * \rho_{Blue})$
VARI	$(\rho_{Green} - \rho_{Red}) / (\rho_{Green} + \rho_{Red} - \rho_{Blue})$

表-3 各植生指標の合致率、過小評価率及び過大評価率

植生指標	①平均±標準偏差			②平均±標準偏差×2			③最小値から最大値		
	合致率 (%)	過小評価率 (%)	過大評価率 (%)	合致率 (%)	過小評価率 (%)	過大評価率 (%)	合致率 (%)	過小評価率 (%)	過大評価率 (%)
NDVI	61.4	17.9	20.7	60.4	8.5	31.1	53.9	2.8	43.3
GRVI	68.1	11.5	20.4	65.9	6.0	28.1	63.4	4.0	32.5
SAVI	62.4	20.3	17.4	61.9	11.3	26.8	54.9	3.6	41.4
EVI	61.1	22.3	16.6	60.3	14.1	25.6	53.3	3.9	42.8
RGBVI	63.4	7.4	29.2	56.7	2.2	41.1	52.1	0.9	47.0
ENDVI	64.5	16.8	18.7	63.5	10.2	26.3	62.9	6.1	31.0
VARI	68.8	20.6	10.6	68.6	13.5	17.9	68.1	11.5	20.4

過小評価率 (%)

$$= \frac{\text{UAV 画像のみオオカナダモ群落を判別した格子}}{\text{低水路全体の 1 m 格子}}$$

過大評価率 (%)

$$= \frac{\text{衛星画像のみオオカナダモ群落を判別した格子}}{\text{低水路全体の 1 m 格子}}$$

オオカナダモ群落の判別精度が高い閾値範囲及び植生指標について検討するため、各閾値範囲間及び植生指標間の合致率を比較した。そして、最も合致率が高かった閾値範囲及び植生指標において、UAV 空撮画像から定量化したオオカナダモ群落に合致した領域、過小評価または過大評価した領域を可視化した。

3. 結果と考察

(1) 各閾値範囲及び植生指標における合致率の比較

表-3 に、各閾値範囲及び植生指標における UAV 空撮画像と植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落及び低水路の合致率、植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落の過小評価率及び過大評価率を示す。各植生指標における合致率は、閾値範囲①において $64.2 \pm 3.1\%$ (平均±標準偏差) と最も高い値を示した。また、閾値範囲②では $62.5 \pm 4.0\%$ 、閾値範囲③では $58.4 \pm 6.3\%$ を示し、各植生指標における合致率の平均値は閾値範囲①から③にかけて小さくなる傾向がみられた。このとき、閾値範囲①から③にかけて、植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落の過小評価率は小さくなる傾向がみられた。これらの結果から、植生指標の閾値範囲を広くすることで、植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落が過大評価した格子が多く増加すると考えられる。

各植生指標における合致率の平均値が最も高かった閾値範囲①では、他の植生指標と比較して植生指標 VARI 及び GRVI における合致率がそれぞれ約 68.8%、68.1%と相対的に高い値を示した。これらの植生指標の算出には、水の透過性が低い近赤外線波長帯のバンドの代わりに水の透過性が高い緑波長帯のバンドが用いられており⁵⁾、植生指標を用いたオオカナダモの定量化に対して緑波長帯のバンドが有効である可能性が考えられる。

(2) UAV 空撮画像及び衛星画像から定量化したオオカナダモ群落の比較

図-2 に、UAV 空撮画像から定量化したオオカナダモ群落と植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落の合致率が最も高かった植生指標 VARI の閾値範囲①におけるオオカナダモ群落に合致した領域、VARI を用いて定量化したオオカナダモ群落が過小評価または過大評価した領域を示す。検討区間内において、オオカナダモ群落に合致した領域はオオカナダモの分布密度の高い箇所によく見られた(図-2)。対照的に VARI を用いて定量化したオオカナダモ群落が過小評価した領域は、オオカナダモの分布密度が低い箇所でも多くみられた(図-2)。これは、1 ピクセル(約 0.5 m)上における光の反射特性が分布密度の高いオオカナダモ群落の場合、オオカナダモのみを反映するのに対して、分布密度が低いオオカナダモ群落ではオオカナダモだけでなく河床材料を含めた光の反射特性を反映するためと考えられる。また、VARI を用いて定量化したオオカナダモ群落が過大評価した格子は、水深が深い箇所などに多くみられた(図-2)。武村ら⁶⁾は、谷津干潟において NDVI を用いたアオサの繁茂状況の推定法について

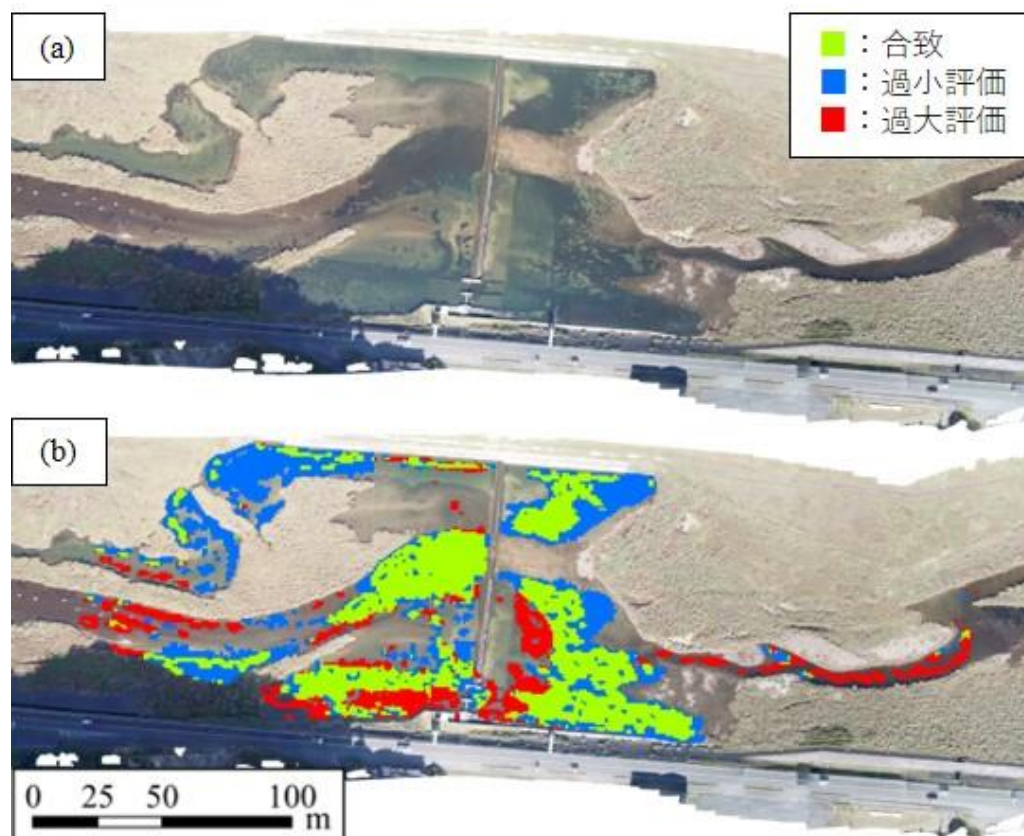


図-2 植生指標 VARI を用いて定量化したオオカナダモ群落 (a) : UAV 空撮画像 (b) : 閾値範囲①

検討し、水深を用いて NDVI 値を補正することで補正前と比較してアオサ被度の過大評価が抑制されることを報告している。今後、植生指標を用いたオオカナダモの定量化に関して検討するにあたり、オオカナダモ群落の過小評価及び過大評価を抑制する手法の構築が課題となる。

4. 結論

本研究では、一級河川江の川土師ダム下流の検討区間を対象として、高分解能衛星画像から植生指標を用いてオオカナダモ群落を定量化した。そして、UAV 空撮画像を用いて定量化したオオカナダモ群落と比較することで、オオカナダモ定量モニタリングに対する衛星画像解析の有効性について検討した。その結果、本研究で用いた植生指標のうち、VARI によりオオカナダモ群落を定量化した場合、UAV 空撮画像を用いて定量化したオオカナダモ群落及び低水路との合致率が他の植生指標と比較して相対的に高く約 68.8%を示した。また、オオカナダモ群落が合致する箇所、植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落が過小評価及び過大評価する箇所を把握することができた。今後は、植生指標を用いて定量化したオオカナダモ群落の過小評

価及び過大評価を抑制する手法について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 児玉貴央, 宮園誠二, 赤松良久, 山口皓平: オオカナダモの広域空間分布に影響を及ぼす環境要因の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.76, No.2, I_1261-I_1266, 2020.
- 2) 乾隆帝, 赤松良久, 掛波優作: 佐波川におけるオオカナダモ被度の定量化と繁茂要因の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, No.4, I_1123-I_1128, 2016.
- 3) MAXAR : <https://www.maxar.com/constellation> (2021 年 4 月 14 日閲覧)
- 4) 日本リモートセンシング学会: 基礎からわかるリモートセンシング, 理工図書, pp.211-213, 2011.
- 5) Ma S., Zhou Y., Gowda P. H., Dong J., Zhang G., Kakani V. G., Wagle P., Chen L., Flynn K. C. and Jiang W.: Application of the water-related spectral reflectance indices: A review, Ecological Indicators 98: 68-79, 2019.
- 6) 武村武, 内田裕貴, 落合麻希子: 植生指標を用いたアオサの繁茂状況の推定法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, No.2, I_450-I_455, 2018.