

江の川土師ダム下流における流量変動に応じたオオカナダモの分布変化の予測

山口大学大学院創成科学研究科	学生会員	○宮平 秀明
山口大学大学院創成科学研究科	学生会員	児玉 貴央
山口大学大学院創成科学研究科	助教（特命）	正会員 宮園 誠二
山口大学大学院創成科学研究科	教授	正会員 赤松 良久

1. はじめに

オオカナダモ (*Egeria densa*) は、南米原産の外来沈水植物であり、人為的な放流や藻体の一部である切れ藻が栄養生殖することにより、日本国内で分布域を拡大していることが報告されている。また、オオカナダモの異常繁茂による水域生態系への悪影響や河川景観の悪化などが懸念されており、オオカナダモが恒久的に繁茂する河川区間を把握し、効率的に繁茂を抑制することが重要となる。そこで、本研究では、オオカナダモの異常繁茂が問題となっている江の川土師ダム下流を対象に、ソースパッチ（季節を通して河道内に生育し、切れ藻の供給源となり得るオオカナダモ群落）の在・不在と環境要因との関係について検討した。さらに、これらの関係からソースパッチの空間分布予測モデルを構築し、流量変動（オオカナダモ繁茂を抑制し得る環境要因）が増減した際の調査区間内におけるソースパッチ分布変化について検討した。

2. 方法

(1) 現地調査

本研究では、江の川上流域の土師ダム（広島県安芸高田市八千代町、約 179 kp）から西城川・馬洗川合流部（同県三次市栗屋町、約 139 kp）までの約 40 km を調査区間とした（図-1）。調査区間内におけるオオカナダモの繁茂状況を把握するため、2020年3月18～19日（オオカナダモ休眠期）、8月5～6日（大規模出水直後）、11月17～18日（オオカナダモ生長期末期）の3季節において、UAV（Unmanned Aerial Vehicle；無人航空機）を用いた河道内の空撮を行った。また、調査を行った2020年には、調査区間内において令和2年7月豪雨に伴う、ピーク流量が 2,280 m³/s の大規模出水が発生しており（図-2）、この出水によりオオカナダモの大幅な流失が発生したと考えられる。



図-1 調査区間

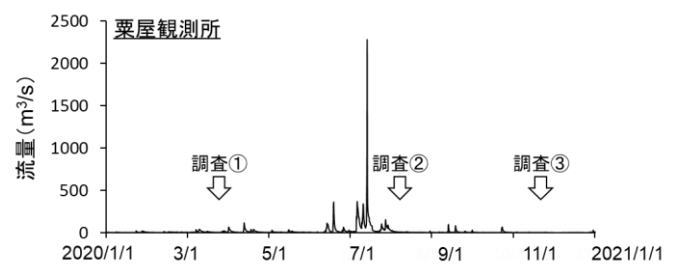


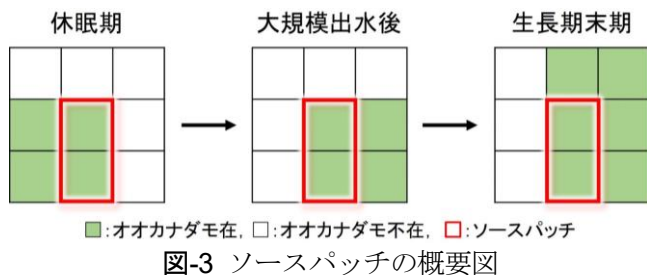
図-2 栗屋観測所における2020年のハイドログラフ

(2) オオカナダモ群落の定量化と環境要因の算出

UAVを用いて撮影した画像から SfM-MVS (Structure from Motion - Multi View Stereo) により、1フライトごとのオルソ画像を作成した。続いて、オルソ画像をもとに、調査区間内のオオカナダモ群落ポリゴンを、ArcGIS10.6.1 (Esri) を用いて作成し、群落面積を算出した。本研究では、季節（休眠期・大規模出水直後・生長期末期）を通して河道内に生育し、切れ藻の供給源となり得るオオカナダモ群落を定量化するため、調査区間内に設定した 10 m×10 m の格子ポリゴのうち、すべての季節においてオオカナダモ群落が存在した格子を“ソースパッチ”と定義した（図-3）。

キーワード オオカナダモ, 沈水植物, 外来種, UAV

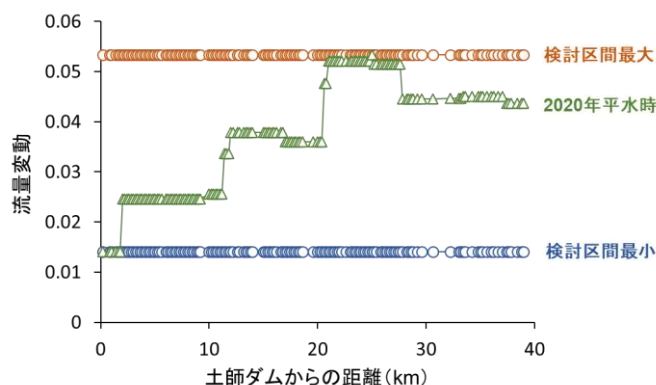
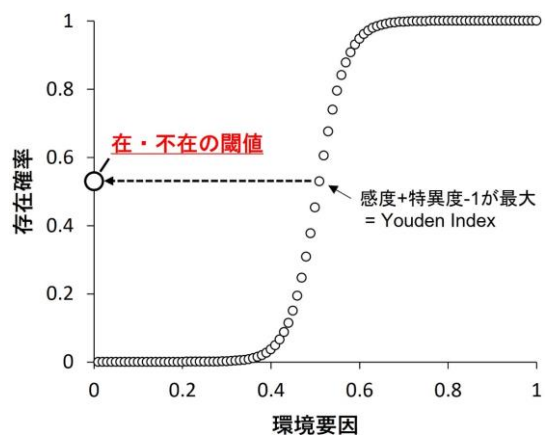
連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 機械・社建棟 7階 B709 TEL0836-85-9339



オオカナダモ繁茂に影響し得る環境要因として、流量変動、平水時及び出水時における水深、流速、無次元掃流力を算出した。流量変動は、現地調査を実施した2020年の調査区間内における各日内の流量変動を定量化した。流量変動は、調査区間内に存在する流量観測所4地点及び支流合流部10地点における時間流量データから変動係数(Coefficient of Variance: CV)を用いて算出した(図-1)。調査区間内における平水時または出水時の水深、流速、及び無次元掃流力を算出するため、iRIC(International River Interface Cooperative)のNays 2DHソルバーを用いて平水時及び出水時における流れ場の再現計算を行った。計算区間は、流量変動算出時に用いた流量観測所及び支流合流部をもとに14区間に分割した。地形データは、2019年に行われた航空レーザ測深(Airborne Laser Bathymetry: ALB)により得られた1m×1mのDTM(Digital Terrain Model)を用い、計算格子サイズは5m×5mとした。

(3) 空間分布予測モデルの構築

ソースパッチの空間分布予測モデルを構築するため、一般化線形モデル(Generalized Linear Model: GLM)を用いて、調査区間内におけるソースパッチの在・不在(応答変数)と各環境要因(説明変数)との関係を解析した。モデル選択にはAICを用い、最適モデルから $\Delta AIC \leq 2$ の上位モデルのみ検討した。次に、上位モデルからソースパッチの空間分布の推定に最適なモデルを検討した。まず、GLM解析により得られた切片と各説明変数の偏回帰係数からモデル式をそれぞれ構築し、モデル式に説明変数である環境要因のデータを代入し、10m×10m格子におけるソースパッチの存在確率(ソースパッチが在となり得るポテンシャル)を推定した。各モデルの精度検証には、AUC(Area Under the Curve)を用いた。AUCは、感度(実際在である10m格子のうち、正しく在と予測された10m格子の割合)と特異度(実際不在である10m格子のうち、正しく不在と予測された10m格子の割合)との関係を表



す曲線の下部分の面積であり、AUCが1.0に近づくほどモデルの精度が高く、0.5に近づくほどモデルの精度が低いことを表す。このとき、感度と特異度は、実際のソースパッチの在・不在と予測されたソースパッチの在・不在の混同行列をもとに、以下の式より算出される。

$$\text{感度} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

$$\text{特異度} = \frac{TN}{FP + TN} \quad (2)$$

このとき、TP(True Positive)は予測在に対して実際に在であった格子、FN(False Negative)は予測不在に対して実際は在であった格子、FP(False Positive)は予測在に対して実際は不在であった格子、TN(True Negative)は予測不在に対して実際に不在であった格子の数を表す。そして、AUCが最も高かった空間分布予測モデルを基に、ソースパッチのポテンシャルマップを作成した。

(4) 流量変動の増減によるソースパッチの変化

空間分布予測モデルにより推定した各10m格子に

表-1 GLM 解析結果（ソースパッチの在・不在 vs. 平水時及び出水時の環境要因）
※太字：適用モデル

model	AIC	AUC	説明変数	偏回帰係数	P値
1	1034.6	0.7906	切片	6.00	< 0.001
			流量変動	-85.75	< 0.001
			水深(平水時)	-1.83	< 0.001
			無次元掃流力(平水時)	70.89	0.141
			無次元掃流力(出水時)	-41.92	< 0.001
2	1035.0	0.7910	切片	6.20	< 0.001
			流量変動	-86.42	< 0.001
			水深(平水時)	-1.95	< 0.001
			無次元掃流力(出水時)	-42.26	< 0.001
3	1036.6	0.7899	切片	6.14	< 0.001
			流量変動	-88.53	< 0.001
			水深(平水時)	-1.90	< 0.001
			流速(平水時)	0.36	0.486
			無次元掃流力(出水時)	-41.98	< 0.001

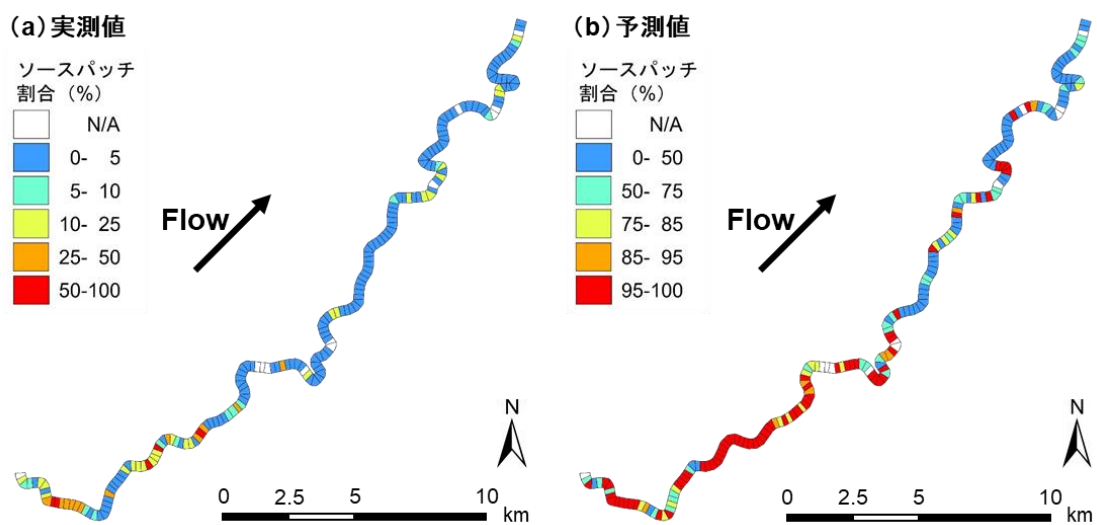


図-6 各 200 m 区間におけるソースパッチ格子の割合 (a) 実測値, (b) 予測値

おけるソースパッチの存在確率からソースパッチの在・不在を判定するため、Youden Index（感度と特異度の和から 1 を差し引いた値が最大となる点）を基準としてソースパッチの存在確率に閾値を設定した(図-4)。そして、実際のソースパッチと予測のソースパッチの格子数を、それぞれオオカナダモ被度算出時の 200m 区間ごとに集計し、ソースパッチの空間分布の傾向を把握した。本研究では、ダム放流量の調整など人為的に操作が可能な環境要因として流量変動に着目し、流量変動が変化した際のソースパッチの空間分布変化を推定した。このとき、空間分布予測モデルに用いる流量変動の値は、検討区間内における 2020 年平水時の流量変動の最小値または最大値とし、これらの流量変動を検討区間全域に一定として与えた場合の 2 通りについて検討した(図-5)。

3. 結果と考察

(1) 調査区間におけるソースパッチのポテンシャルマップ

表-1 に、ソースパッチの在・不在と環境要因との関係を GLM により解析した結果を示す。AIC を基準として選択された上位モデルについて、それぞれモデル精度の評価指標である AUC を算出したところ、model1 は 0.7906, model2 は 0.7910, model3 は 0.7899 を示した。各モデルにおいて、AUC に大きな差はみられなかったが、model2 で AUC が最大値を示したことから、本研究では model2（説明変数：流量変動、平水時の水深、出水時の無次元掃流力）を用いて検討区間全域のソースパッチのポテンシャルマップを作成した。model2 では、ソースパッチの在・不在と流量変動及び、平水時の水深、出水時の無次元掃流力との間に負の相関がみられ、ソースパッチは流量変動が小さく、平水

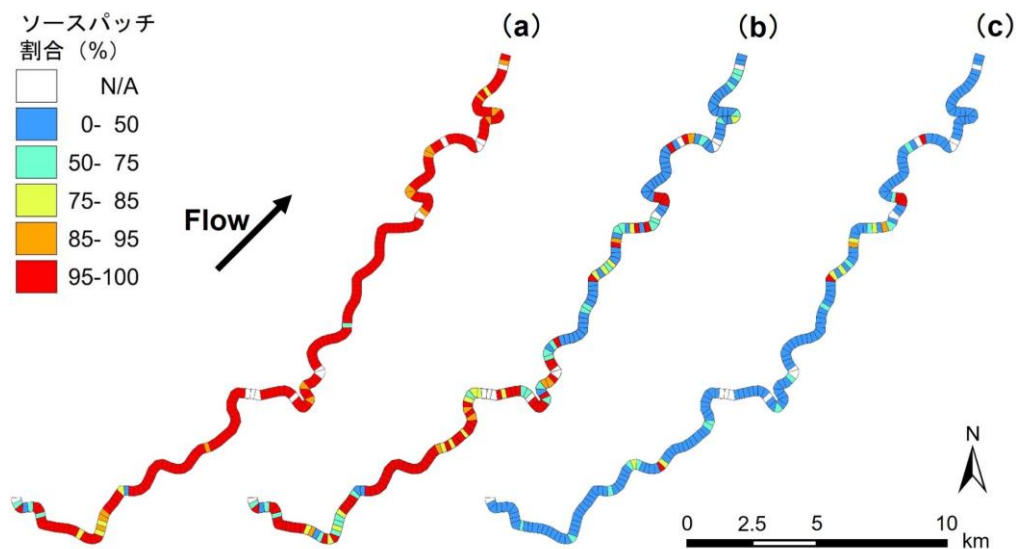


図-7 流量変動が変化した場合の各 200m 区間におけるソースパッチ格子の割合
(a) 検討区間最小, (b) 2020 年平均水時, (c) 検討区間最大

時の水深が浅く、出水時の無次元掃流力が小さい河川区間で多く存在することが示唆された。

図-6 に、各 200 m 区間における 10 m 格子の総数に対する実際のソースパッチ格子、及び予測のソースパッチ格子の割合を示す。江の川土師ダム下流区間において、空間分布予測モデルにより推定されたソースパッチのポテンシャルは、実際のソースパッチの空間分布と同様に検討区間上流で高く、下流に行くほど低くなる傾向がみられた。このとき、検討区間内に存在する 196 区間中 50 区間において、ソースパッチ格子の割合が 100%と最も高い値を示したが、このうちの 31 区間 (60.2%) は高樋堰の上流区間に存在した (図-6b)。土師ダム下流では、ダムによる流量調節により流れが平滑化しており、これに伴い流量変動が小さい値を示すことからソースパッチが形成されやすい環境であることが考えられる。

(2) 流量変動の変化に伴うソースパッチの空間分布の推定

図-7 に、本研究で構築したソースパッチの空間分布予測モデルを用いて、2020 年平均水時から流量変動が変化した場合の各 200 m 区間ごとのソースパッチ格子の割合を示す。検討区間内全域において流量変動が 2020 年平均水時の最小値になった場合、ソースパッチの面積は 0.58 km^2 (約 52%) 増加することが推定された (図-7a)。対照的に、検討区間内全域において流量変動が 2020 年平均水時の最大値になった場合、ソースパッチの面積は 0.71 km^2 (約 63%) 減少することが推定された (図-7c)。

これらの結果から、検討区間内における流量変動を変化させることで、オオカナダモの切れ藻の供給源となり得る群落の拡大を抑制できる可能性が示唆された。今後は、効率的なオオカナダモの繁茂抑制のため、どの季節に流量変動を与えることでオオカナダモの生育や切れ藻の定着を抑制可能か検討する必要がある。

4. 結論

本研究では、季節を通して生育するオオカナダモが存在し得る河川区間について検討するため、ソースパッチの在・不在と平水時及び出水時の環境要因との関係から、ソースパッチの空間分布予測モデルを構築した。さらに、ソースパッチの空間分布予測モデルを用いて、検討区間内における流量変動が変化した場合にオオカナダモ繁茂のポテンシャルマップがどのように変化するか検討した。その結果、検討区間全体の傾向として、ソースパッチ格子は流量変動が小さく、平水時の水深、及び出水時の無次元掃流力が小さい河川区間で多く存在する傾向がみられた。また、流量変動を 2020 年平均水時の最大値にした場合、検討区間全体のソースパッチの面積が 0.71 km^2 (約 63%) 減少したことから、流量変動を増加させることでソースパッチになり得るオオカナダモ群落の拡大を抑制できる可能性が示された。今後は、効率的なオオカナダモの繁茂抑制のため、どの季節に流量変動を与えることでオオカナダモの生育や切れ藻の定着を抑制可能か検討する必要がある。