

土師ダム下流におけるオオカナダモの繁茂・流失要因の検討

STUDY ON COVER DEGREE OF ALIEN AQUATIC WEEDS AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS AFFECTING THE GROWTH OF *Egeria densa* IN DOWNSTREAM OF THE HAJI DAM, JAPAN

後藤 益滋¹・赤松 良久²・乾隆帝³・城垣 真司⁴・掛波 優作⁵
・山原 康嗣⁶・浜田 大輔⁶

Masuji GOTO, Yoshihisa AKAMATSU, Ryutei INUI, Shinji SIROKAKI, Yusaku KAKENAMI, Yasutsugu YAMAHARA and Daisuke HAMADA

¹ 正会員 工博 山口大学大学院 学術研究員 創成科学研究科
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

² 正会員 工博 山口大学大学院 准教授 創成科学研究科
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

³ 正会員 農博 山口大学大学院 特命助教 創成科学研究科
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

⁴ 非会員 山口大学工学部 社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

⁵ 学生会員 工学 山口大学工学部 社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

⁶ 正会員 中電技術コンサルタント(株) (〒734-8510 広島市南区出汐二丁目 3-30)

The purpose of this study is to elucidate the environmental conditions causing the community of overgrowth of the alien aquatic weed *Egeria densa* and to construct an appropriate management method.

In this study, unmanned aerial vehicle (UAV) was used to survey to quantify the cover degree of *E. densa*. In addition, environmental conditions that affect the cover degree of *E. densa* were explored by using fluid models, geographic information system (GIS). The results of this study showed that the cover degree of *E. densa* can be easily quantified by using images taken by UAV and GIS. When the flow velocity was <1.0m/sec and the water depth was <2.0m, a high coverage area was confirmed irrespective of hydraulic conditions.

Key Words: UAV, drone, alien species, aquatic weed, river, GIS

1. はじめに

オオカナダモ *Egeria densa* は、南米原産の沈水植物の一種であり日本国内には 1940 年代に野生化が確認され、1970 年代には全国にその分布域を拡大している^{1)・2)}。本種は、日本生態学会が選定した「日本の侵略的外来種ワースト 100」にも含まれているばかりでなく、環境省外来生物法によって要注意外来種に選定されている²⁾。

生殖様式は、切れ藻による無性生殖で流水域及び止水域を問わず容易に分布域を拡大する性質があるため^{3)・4)}、オオカナダモの侵入によって在来生態系の低下や枯死藻体に伴う水質悪化、河川景観の悪化など自然的要素の他、

異常繁茂または切れ藻による利水の障害、アユなどの水産上有用魚種などの漁業活動にも支障を及ぼす恐れが指摘されている^{5)・6)}。そのため、侵入や繁茂、流失をモニタリングする手法の構築、さらには、繁茂に影響を及ぼす要因を解明し、適切な管理方法を開発することが必要とされている⁷⁾。しかし、沈水植物を定量モニタリングする場合には、長時間、高コスト、多大な労力が必要とされるため⁸⁾、繁茂条件を解明した研究例は極めて少ない。乾ら^{8)・9)}は、多数の堰を有することが大きな特徴である山口県の佐波川を対象として、UAV (Unmanned aerial vehicle: 無人航空機) を援用した本種の繁茂状況の定量化や流失特性について検討し、佐波川では堰の存在

が主要な繁茂要因となっていることを明らかにしている。

広島県から島根県を流域とする江の川では、近年、オオカナダモの異常繁茂による景観悪化に加えて、アユの漁獲量の低下が懸念されており¹⁰⁾、本研究のフィールドである土師ダムから三川合流（西城川及び馬洗川合流域）までは流域の中でも特にオオカナダモの繁茂が深刻である。成長したオオカナダモは水面を覆い尽くすため、河床礫に繁茂する付着藻類と競合し、藻類を主な餌とするアユなどの魚類への深刻なダメージが懸念されている。江の川では、平成 21 年度より、人力や重機などによる河床の攪拌およびオオカナダモの河川外への除去を行っているが、労力や費用が膨大となることや対象範囲が限定されることから、効果的かつ効率的な防除方法の開発が必要とされている。

そこで本研究では、江の川における繁茂の現状をモニタリングし、水質、水深、流速、河床材料などの物理的環境特性から繁茂、流失要因を検討することを目的とした。

2. 方法

本研究のフィールドは、広島県安芸高田市から三次市を流域とする江の川を対象とした。本川の幹川流路延長は 194km、流域面積は 3,870km²の一級水系である。観測対象範囲は、三次市から土師ダム（安芸高田市千代田町）までの約 38km であり、本川に 1 基のダム及び 2 基の堰が存在する。現地観測の概要を以下に示す。

(1) オオカナダモ被度算出のための UAV 撮影

撮影範囲は、図-1 に示す江の川流域のうち、三次市～土師ダムの約 38km 区間とした。期間は、2016 年 5 月 28 日、2016 年 8 月 18 日、2016 年 11 月 16 日の 3 季にわたり、動画撮影を実施した。

空撮機材は、UAV (phantom4, DJI 製) を使用し、撮影条件は晴天で、ISO400、シャッタースピードは 100～120 の範囲とした。空撮後、映像データを、Image Composite Editor(Microsoft Corporation)で歪みを最小限に修正したスナップショット画像を作成したのち、その画像に対して、ArcGIS 10.2 (ESRI 社製) のジオリファレンス機能を用いて位置座標の定義づけを行い、本種の群落をトレースするポリゴンおよび低水路のポリゴンを作成した。なお、トレースする際の最小面積は 4m²に設定した。作成したポリゴンを、河川内に設定されている 200m ピッチの定期横断測線で切断することにより、河川縦断方向に 200m 範囲内（以下、200m ユニット）の群落及び低水路の面積を算出し、群落面積を低水路面積で除することによって、低水路における本種の被度を算出した。

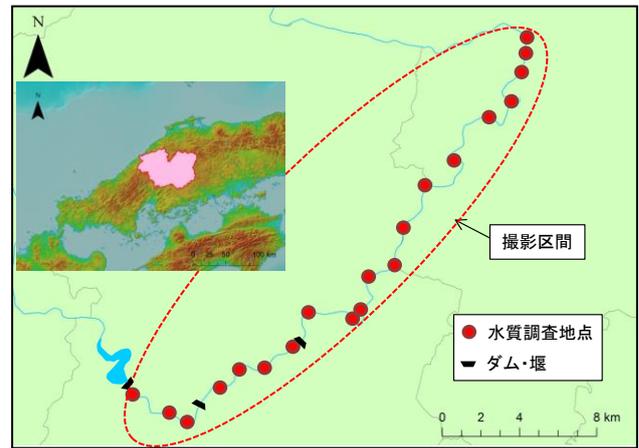


図-1 撮影区間及び水質調査地点

(2) オオカナダモの繁茂要因の検討

オオカナダモの繁茂に好適な環境条件を明らかにするため、被度が最も高い夏季（8 月 18 日）の流速、水深、低水路の標高、堰からの距離及び水質から検討した。オオカナダモの被度は、200m ユニット及びより詳細な 10m×10m グリッドで算出した被度を用い、平水時の流速及び水深は、定点観測では多点データの収集が困難であるため、iRIC(International River Interface Cooperative)ソフトウェアの Nays2D Flood ソルバーを用いて算出した流速、水深データを使用した。計算に用いた断面データは、2015 年 9 月に行われた 200m ピッチの定期横断測量結果を元に作成したメッシュデータを用いた。

計算の境界条件は、上流端流量に 8 月 18 日の土師ダム放流量(4.63m³/s)を与え、下流端は等流水深とした。計算条件として、均一粒径(91.2 mm)を与えた。また、支川による横流入を考慮するため、図-2 に示す支川ごとに地形を 6 区間に区切り、8 月 18 日の土師ダム放流量(4.63m³/s)と粟屋観測所の流量(8.91m³/s)の差から、計算区間内の全横流入量を算出し、各支川の持つ集水面積割合で割り振り区間流量を算出した。算出された流速および水深データは、200m ユニットで平均値を集計した。集水面積の算出および計算結果の集計には、ArcGIS10.2 を用いた。

堰からの距離は、乾ら⁹⁾の方法を踏襲し、下流端から下流方向の最寄りの堰までの距離（以下、下流方向の堰までの距離）を算出した。なお、低水路ユニット内に堰が存在した場合は、下流方向の堰までの距離および上流方向の堰までの距離をともに 0 として計上した。

水質は、図-1 に示す 2016 年 8 月 26 日から 8 月 27 日にかけて調査対象範囲 20 地点の流心で採水を行い、実験室に持ち帰って栄養塩類 2 項目(T-N, T-P)を JIS K 0170（流れ分析法による水質試験方法）に従い、オートアナライザ (SWATT, ビーエルテック社製) で自動計測を行った。これらの値を、ArcGIS 10.2 を用いて内挿補完することにより、200m ユニットにおける平均値を算出し

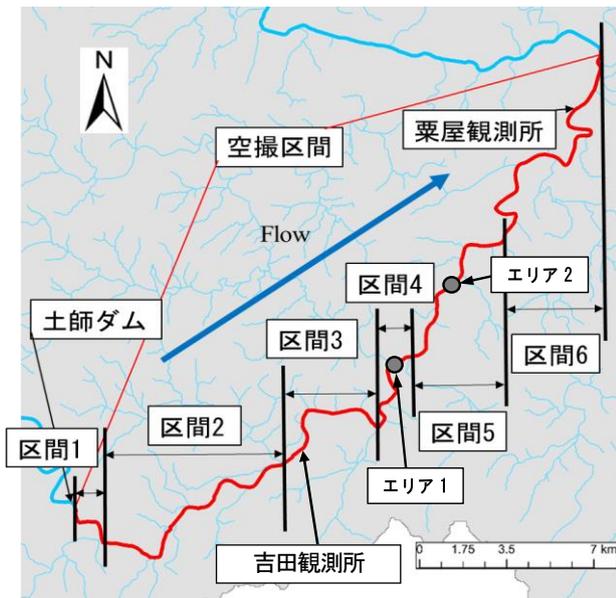


図-2 計算区間

*エリア 1, 2は流失面積算出区間を示す

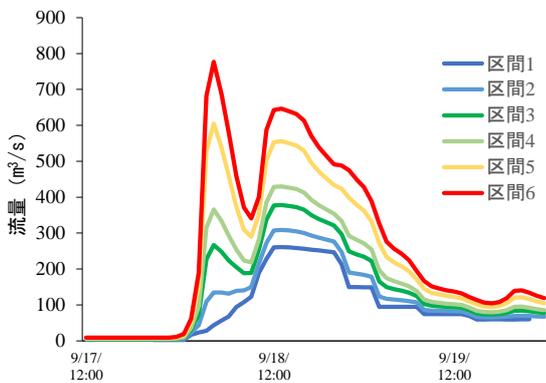


図-3 出水時における区間流量のヒドログラフ

た。

(3) 出水時におけるオオカナダモの流失要因の検討

8月と11月におけるオオカナダモの被を比較すると、撮影範囲のほぼ全域で被度の減少がみられたことから、9月18日の年最大規模の出水による影響を受けた可能性が高い。このことから、流れ場とオオカナダモの流失状況の関係を比較するため、図-2に示す特に8月と11月の減耗が70%以上の200m区間（以下、エリア1及びエリア2）を調査地点として設定し、出水を挟んだ繁茂状況を比較することによって、流失面積の算出を行い、その状況を把握することとした。

まず、より詳細に流れ場との比較をおこなうため、低水路上に10m×10mのグリッドを作成し、各グリッドにおけるオオカナダモ群落の面積を算出した。次に、共通のグリッドで算出した8月と11月のオオカナダモの面積の差を流失面積として算出した。なお、低水路と高水敷の境目等でグリッドに対して低水路の面積が50%に満

たないグリッドは除外した。また、出水前のグリッド内におけるオオカナダモの被度が20%に満たないグリッドは除外した。

出水時における流れ場解析は、iRICソフトウェアのNays2D Flood Solverを用いて算出した。計算の境界条件として、上流端流量に空撮期間内の最大出水である9月18日の土師ダム放流量（ピーク流量260.71m³/s）を与えた。また、計算区間の横流入量を考慮するために、栗屋観測所の流量（ピーク流量777.14m³/s）との流量差から、計算区間内の全横流入量を算出し、各支川がもつ集水面積割合で6区間に割り振った（図-3）。下流端は等流水深とした。

3. 結果と考察

(1) 土師ダム下流から三川合流までの被度

オオカナダモは、図-4に示す土師ダムから三川合流付近までほぼ撮影範囲の全域で群落が確認され、ユニットあたり10~30%の割合が70%以上を占めており、最大被度は8月の86.4%であった。月別の特性として、8月は撮影範囲の全域で被度が増加傾向を示し、中、上流域ではその傾向が顕著であった。夏季は、水温上昇によって生育が旺盛となる上、調査日前1か月はほとんど降雨もなく、図中のヒドログラフ（吉田観測所）からみても、流況がきわめて安定していたこともオオカナダモが生育するための好条件となっていた可能性が高い。一方で、11月は撮影範囲全域で減少する傾向を示し、特に中、下流域で顕著な傾向を示していた。これは水温が低下し、活性が落ちていることに加えて、9月18日の年最大出水の影響によって河床の攪乱が生じ、藻体が流失している可能性が高いことが想定された。

(2) オオカナダモの繁茂要因の検討

標高、堰との距離、流速、水深及び栄養塩類項目(T-N, T-P)と被度との関係を図-5に示す。

オオカナダモの200mユニット被度と堰、標高、流速、水深との間に明確な傾向は認められず、関係性はみられなかった。江の川は、非常に緩勾配である地形を考慮すると、オオカナダモが繁茂しやすい状況にあることが推察される。水質(T-N, T-P)との関係性は、特に富栄養化の傾向を示してもいないことから、繁茂要因とはなりにくいものと推察される。しかしながら、これらの情報は、200mユニット内の平均的な情報なため、より詳細に把握するために、図-6に示すオオカナダモの10m×10mグリッド被度（8月）と水深、流速との関係性をみることにした。その結果、流速約1.0m/s、水深約2.5m以下の幅広い水理条件において高い被度の領域がみられた。また、流速が1.0m/secを超える早瀬のような場所において

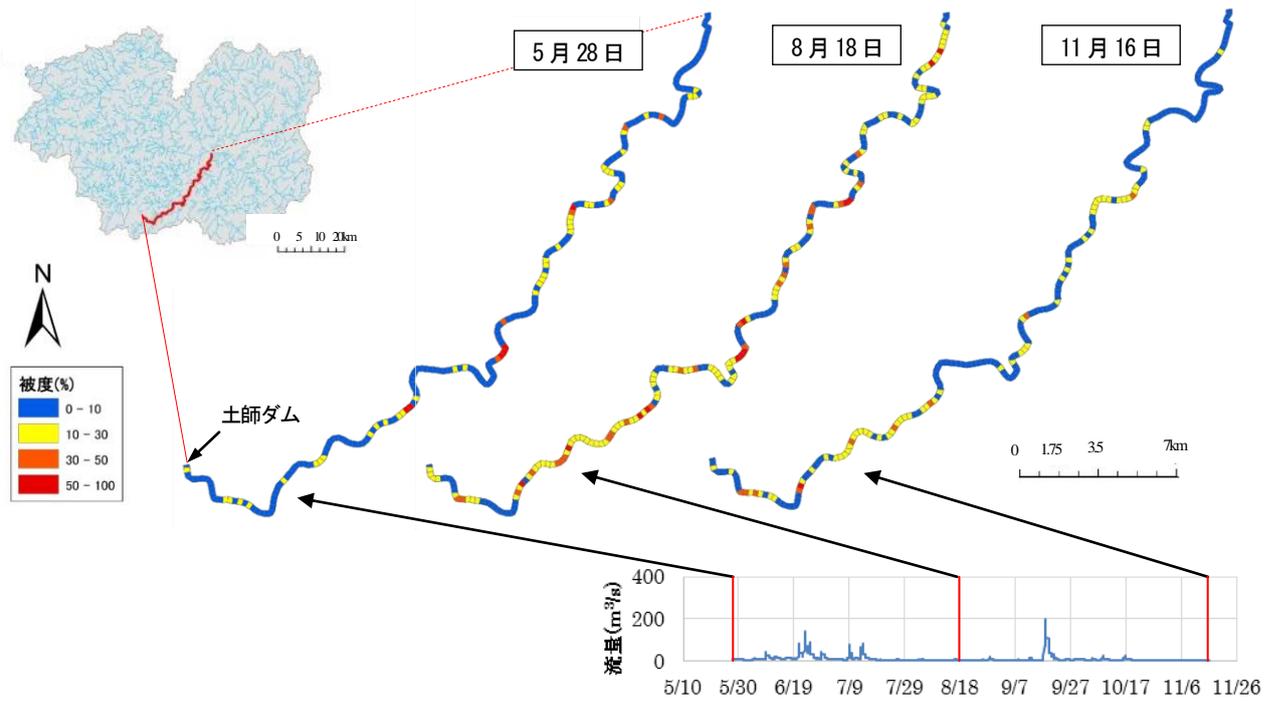


図-4 撮影範囲におけるオオカナダモの季節別被度分布
 *図中右下のハイドログラフは調査期間における吉田観測所の値を示す

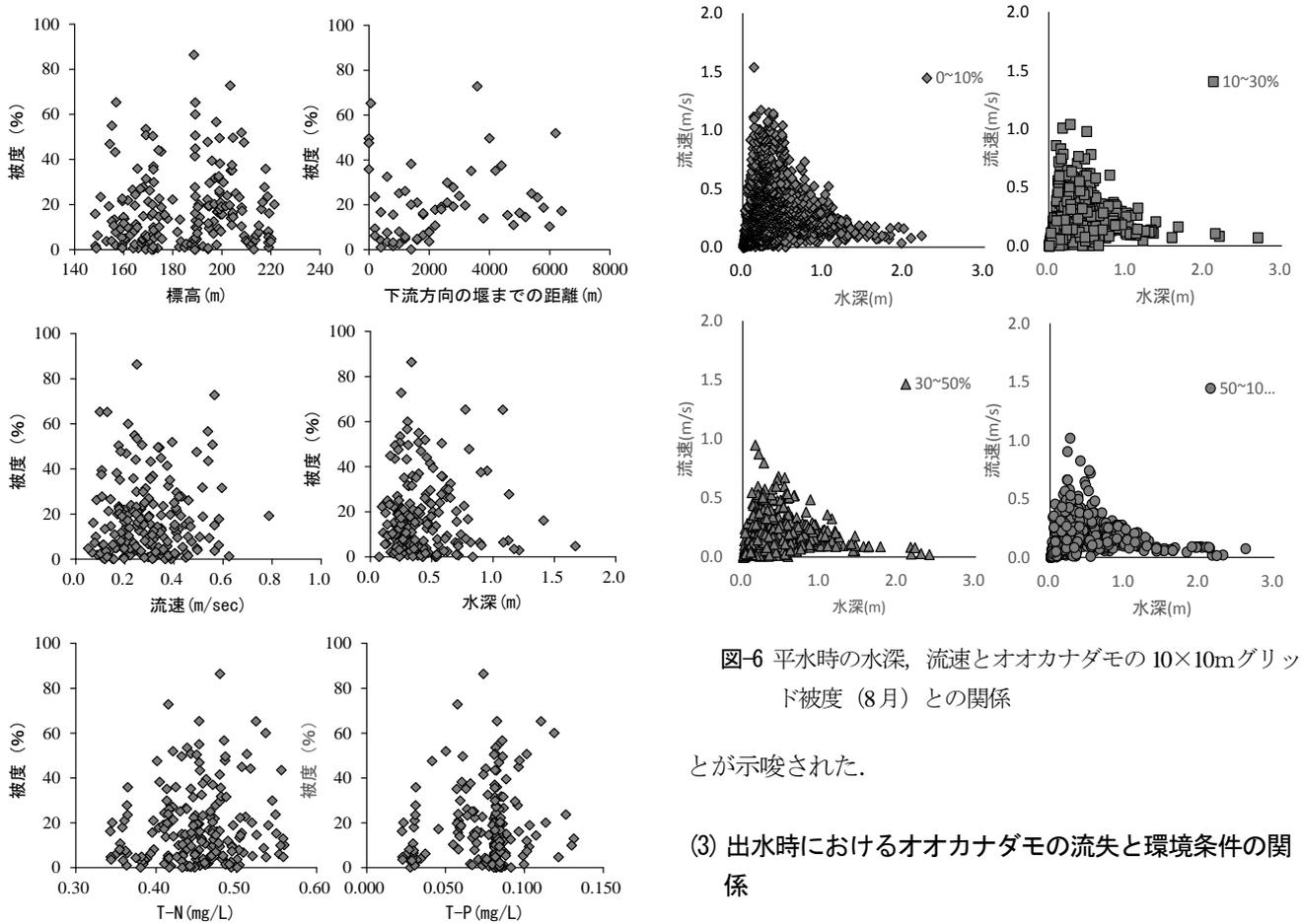


図-5 物理的環境条件と200mユニット被度との関係

も被度の高い領域が散見されており、流速が大きい場所
 が必ずしもオオカナダモにとって不利な条件ではないこ

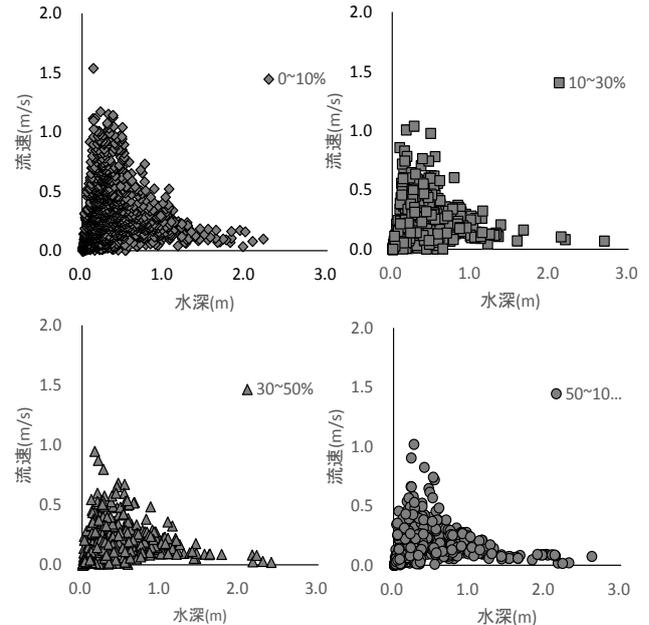


図-6 平水時の水深、流速とオオカナダモの10×10mグリッド被度(8月)との関係

とが示唆された。

(3) 出水時におけるオオカナダモの流失と環境条件の関係

図-7に示すエリア1及びエリア2では、8月と11月を比較すると、オオカナダモの群落面積が大幅に減少していた。両エリア共に、図に示すとおり8月は河道をほぼ

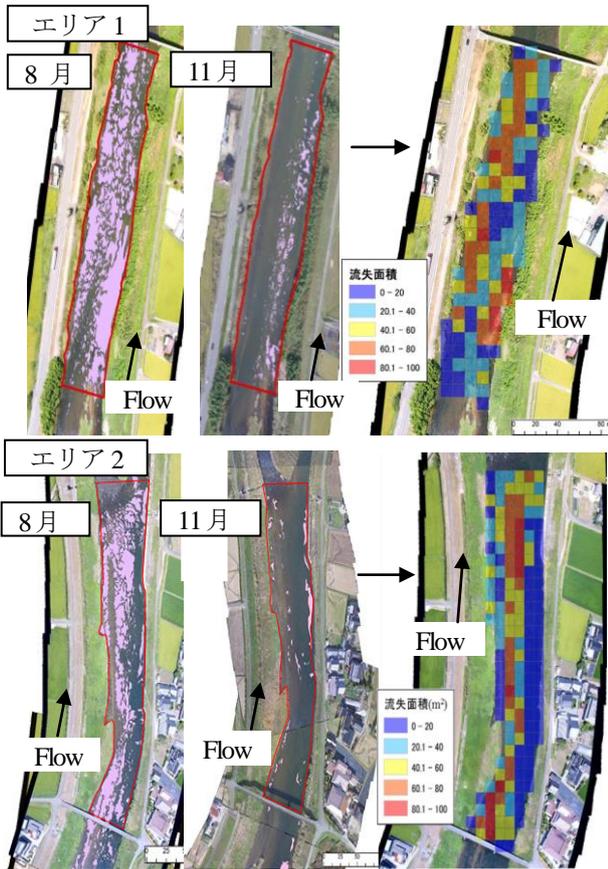


図-7 エリア 1, 2における流失面積

*左図は8月、中図は11月のオオカナダモの繁茂状況(桃色)を示す。右図の流失面積のメッシュは10m×10m

覆い尽くす規模に群落が発達していたが、11月には著しく減少しており、右、左岸に偏っているか、もしくは両岸に確認されてもその規模は局所的であった。

特に、流心付近の群落はほぼ消失していることが認められたため、出水が起因する河床変動によって藻体の流失が疑われた。その影響を最も受けやすい流量ピーク時(2016年9月18日3:00)の解析結果(図-8)をみると、流速及び無次元掃流力の平均値から、流量ピーク時には流速がエリア1で最大3.00m/s、エリア2で最大2.28m/sとなった。無次元掃流力は、エリア1で最大0.0438、エリア2で最大0.0244となった。図-9に示すオオカナダモの流失面積との関係性が強かった流速に着目すると、両サイトともに、2.0m/sを上回る箇所は20%以上の流失が多く発生する傾向がみられた。また、流速同様、オオカナダモの流失面積との関係性が強かった無次元掃流力に着目すると、エリア1では0.026を上回る箇所において、20%以上の流失が多く発生する傾向がみられた。

これらの結果から、出水時に2.0m/s以上の流速が発生する箇所では、オオカナダモの大幅な流失が起こる可能性が示された。無次元掃流力と流失面積との間にも流速と同じく正の関係性がみられたことから、江の川におけるオオカナダモの減少は、主たる要因の一つとして、出水時における土砂の移動に伴って発生する可能性が高い

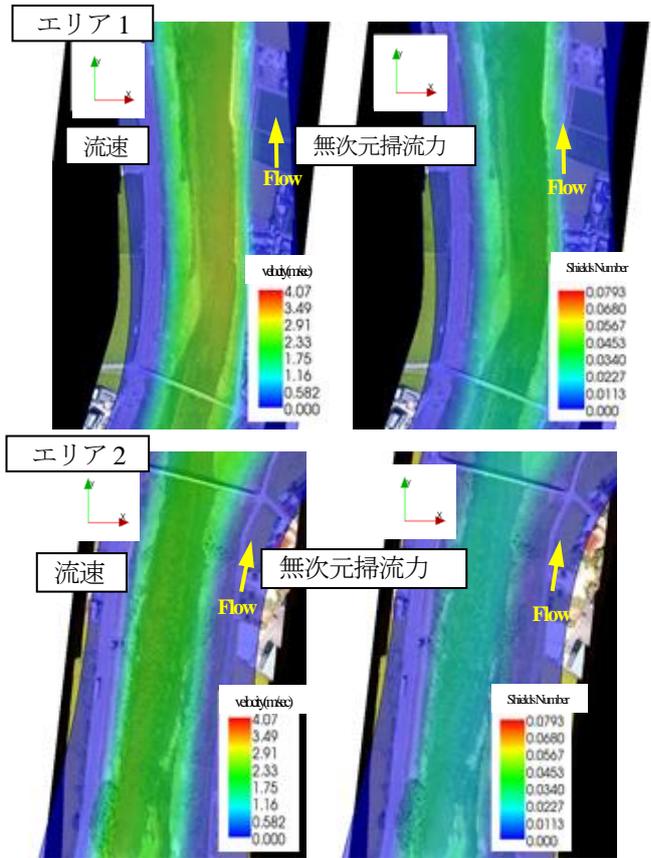


図-8 iRICを用いたピーク流量時付近の数値シミュレーションの結果

ことが推察される。

4. 結論

本研究では、UAVによる空中撮影によって得られた動画から作成した河道内の画像とGIS解析を併用することで、江の川におけるオオカナダモの広域分布情報を得ることができた。オオカナダモは、撮影範囲のほぼ全域で繁茂が確認され、季節別の変動をみると、8月に被度が最も大きく、11月に減少する傾向を示した。200mユニット被度と堰、標高、流速、水深及び水質との関係性が低かったため、より詳細な10m×10mグリッド被度と流速、水深との関係性をみると、流速が1.0m/sec以下、水深が2.5m以下になると水理条件に関係なく高い被度の領域が確認された。また、流速が1.0m/secを超える早瀬のような流速の大きい場所でも高被度域が散見されたため、流速が大きい場所が必ずしもオオカナダモの繁茂にとって不利な条件ではないことが示唆された。8月の被度と比べると、11月の被度が特に減少している2エリアでは、出水時に2.0m/s以上の流速が発生する箇所において、オオカナダモの大幅な流失が起こる可能性が示された。また、無次元掃流力と流失面積にも流速と同様に正の関係性がみられたことから、オオカナダモの流失に

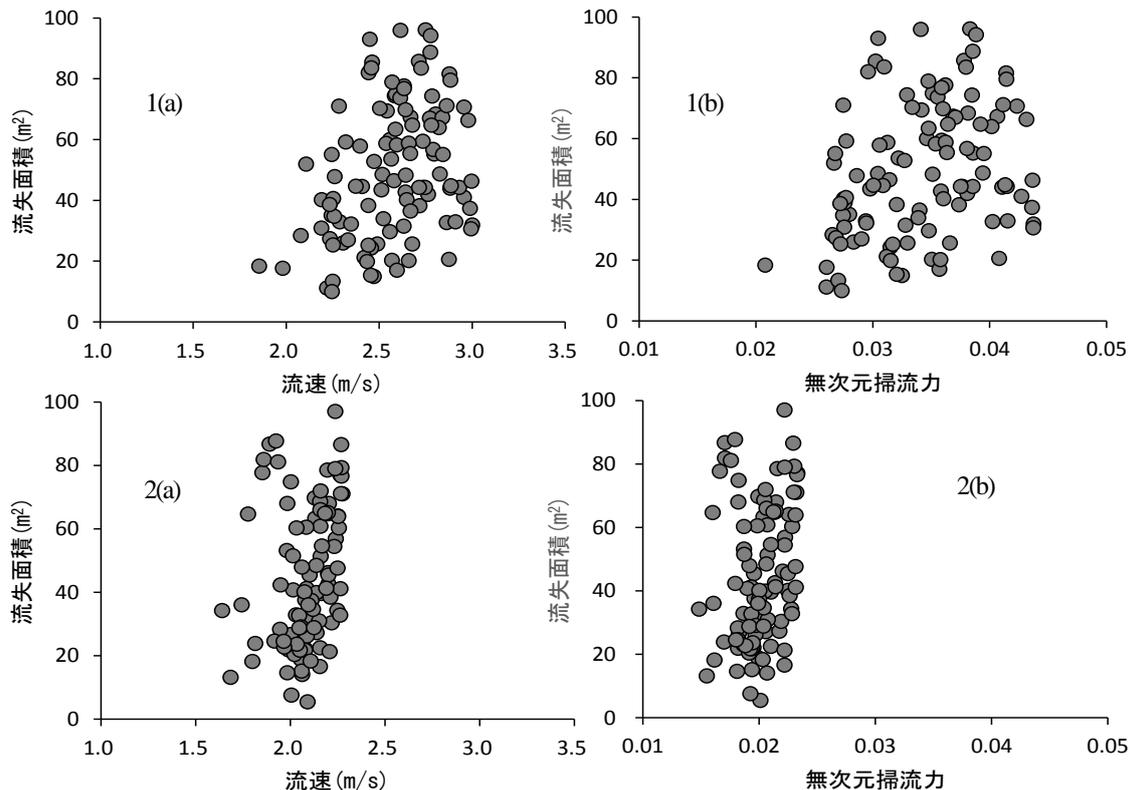


図-9 オオカナダモの流失面積と流量ピーク時における流速と無次元掃流力との関係性

*1はエリア1, 2はエリア2の結果であり, 各エリアについて, (a) 流速(m/s), (b) 無次元掃流力を示す。

は, 出水時の河床変動が大きく影響していることが示唆された。

以上のことから, 土師ダム下流域では, ダムによる流量制御によって流況が極めて安定しているために, オオカナダモが流域全域で繁茂しやすい環境にあるものと推察される。また, 出水によって群落が大きく減少しても時間の経過とともに再生を繰り返しているものと推察される。本水系におけるオオカナダモの抑止対策として, 本種がいかに定着しにくい条件を検討することが今後の課題といえよう。

謝辞: 本研究は, 国土交通省受託研究「オオカナダモの除去及び繁茂抑制に関する技術的支援, 研究代表者: 赤松良久」の一環として行われた。本研究に際して, 国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所から貴重なデータの提供を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Santos, M. J., Anderson, L. W. and Ustin, S. L.: Effects of invasive species on plant communities: an example using submersed aquatic plants at the regional scale, *Biol Invasions*, Vol.13, pp.443-457, 2011.
- 2) 国立環境研究所 侵入生物データベース : https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/80670_ref.html
- 3) Haramoto, T., and Ikushima, I.: Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan, *Aquatic Botany*, Vol.30, pp.389-403, 1988.

4) 琵琶湖博物館 WEB 図鑑「外来生物」:

<http://www.lbm.go.jp/emuseum/zukan/gairai/data/ookanadamo.html>

- 5) 内田朝子, 白金晶子, 洲崎燈子, 裕伸夫, 水野修, 椿隆明: 矢作川における要注意外来生物オオカナダモ (*Egeria densa*) の繁茂状況と駆除活動, 矢作川研究, No.18, pp.33-40, 2014.
- 6) 内田朝子, 白金晶子, 角野康郎: 「矢作川オオカナダモ駆除検討会」の記録, 矢作川研究, No.20, pp.43-52, 2016.
- 7) Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., and Morrison, D.: Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States, *BioScience*, Vol.50, pp.53-65, 2000.
- 8) 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.
- 9) 乾隆帝, 掛波優作, 赤松良久: 佐波川におけるオオカナダモの流失特性の検討, 河川技術論文集, Vol.22, pp.457-462, 2016.
- 10) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 曾田一志, 村山達朗, 福井克也: 資料江の川上流域におけるアユ漁場診断調査の記録, 島根県水技セ研報 8, pp.30-49, 2015.
- 11) 今本博臣, 松本潤, 古里栄一, 鷺谷いずみ: 琵琶湖に生育する6種の沈水植物の光・水温特性, 応用生態工学, Vol.11, No. 1, pp.1-12, 2008.

(2017. 4. 3 受付)