河川技術論文集，第22巻, 2016年6月

佐波川におけるオオカナダモの流失特性の検討

FACTOR ANALYSIS OF WASHOUT OF EGERIA DENSA
IN SABA RIVER, JAPAN

乾　隆帝[1]・掛波優作[2]・赤松良久[3]
Ryutei INUI, Yusaku KAKENAMI, Yoshihisa AKAMATSU

[1]正会員　博（農）　山口大学大学院特命助教　創成科学研究科建設環境系専攻
（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）
[2]学生会員　学（工）　山口大学大学院　創成科学研究科建設環境系専攻
（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）
[3]正会員　博（工）　山口大学大学院准教授　創成科学研究科建設環境系専攻
（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）

In recent years, overgrowth of *Egeria densa* in the river mainstream have been reported from many rivers. Identifying the environmental conditions that affect washout of *E. densa* are important problems for its management in rivers. In this study, unmanned aerial vehicle (UAV) was used to establish a method to quantify the cover degree of *E. densa*. In addition, we tried to identify the washout factors of *E. densa* by using hydraulic models. Washout rate of each mesh (10m×10m) was calculated by comparing the cover degree of *E. densa* before and after flood in the two site. Velocity, dimensionless tractive force, elevation change, and bed load flux were calculated. Then, we analyzed the relationship between these parameters and the washout rate of *E. densa*. There were clear relationship between the washout rate and velocity and dimensionless tractive force. More than 20% washout were observed at areas whose velocity exceed 1.5m/s and dimensionless tractive force exceed 0.05.

Key Words : *UAV, drone, alien species, aquatic weed, river, GIS, dimensionless tractive force , bed deformation model, eco hydraulics*

1．はじめに

オオカナダモは，南米原産の外来沈水植物であり[1)]，切れ藻によって分布域を拡大することができるため，日本だけでなく，世界各地に移入定着している[1),2)]．陸水域における外来沈水植物の侵入は，生物多様性の低下や水質の悪化を引き起こす可能性が高いため，適切な管理をおこなっていく必要がある[3)]．本種は，従来は，湖沼や水路を中心に繁茂していたが[4),5)]，近年は，河川の本流でも繁茂している事例が数多く報告されており，これらの河川では，実際に景観悪化や漁業被害が生じている[6)]．

このような背景から，河川におけるオオカナダモの侵入や繁茂，流失をモニタリングする手法の構築，さらには，繁茂や流失に影響を及ぼす要因を解明し，繁茂抑制につなげることが課題である．これまでの河川におけるオオカナダモについての研究は，水口ら[7)]，田中ら[8)]による広島県北部の江の川水系におけるフラッシュ放流にともなう流出特性や，乾ら[9)]による山口県の佐波川水系におけるUAV（Unmanned aerial vehicle：無人航空機）を用いた被度の定量化と繁茂要因の解明などがおこなわれている．

オカナダモのような生産性が高い外来植物の繁茂対策としては，出水攪乱による流失を活用することの有効性が指摘されているが[8)]，河川におけるオオカナダモの流失に必要な流れ場の特性や，あるいは流失量と流れ場の特性の関係性については不明な点が多い．そこで本研究では，乾ら[9)]で確立されたオオカナダモの被度を定量化する手法を用いることにより，オオカナダモの出水前後の被度を比較し，さらに，該当区間における出水時の流れ場の特性を数値シミュレーションによって算出することにより，オオカナダモの流失と流れ場の特性についての関係性を明らかにすることを試みた．

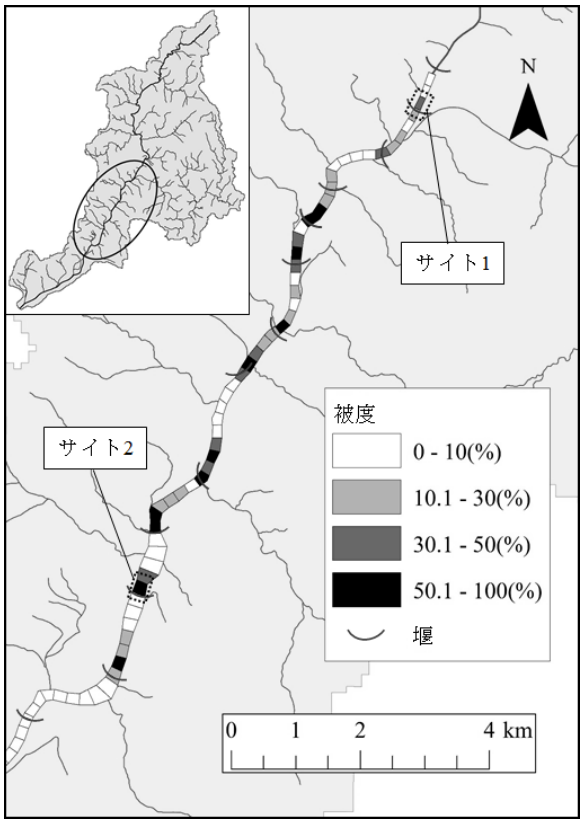

図-1　本研究の調査地点．被度のデータは，乾ら[9]の図-6からの引用

2．方法

(1) オオカナダモの流失率の算出

乾ら[9]による繁茂状況のモニタリングによって明らかとなった，出水前の被度が40%以上であった堀観測所下流の約250m区間（以下サイト1）と，鈴屋堰背水面の約230m区間（以下サイト2）を調査地点に設定し（図-1），出水前後のオオカナダモの被度を比較することによって，流失面積および，流失率の算出をおこなった．

撮影は，年最大規模の出水であった2015年8月25日の出水を挟んだ，2015年8月9，23日と2015年9月13，14，15日におこなった．被度の算出は，乾ら[9]の手法に従い，以下の手順でおこなった．まず，Phantom3（DJI）を用いて堤防ー堤防間の動画を撮影した後，Image Composite Editor（Microsoft Corporation）を用いて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．さらに，その画像に対して，ArcGIS 10.2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おこなった．次に，オオカナダモ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．トレースは可能な限りすべてのオオカナダモ群落に対しておこなった．最後に，低水路上に流失面積を算出する際の単位となる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．共通のグリッドで算出した出水前の面積と出水後の面積の差を流失面積として算出し，流失面積を出水前の群落面積で除することによって流失率を算出した．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および出水前の

表-1 境界条件および計算条件

	河床材料の粒径(mm)	流量データ取得観測所	ピーク流量 (m^3/s)
サイト1(堀観測所下流)	20.66	堀	170.61
サイト2（鈴屋堰背水面）	22.67	漆尾	270.95

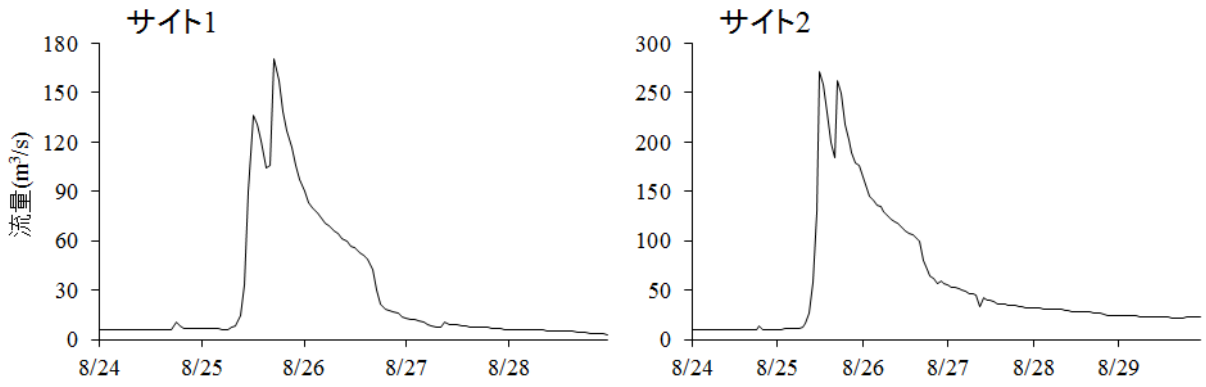

図-2　上流端流量のハイドログラフ

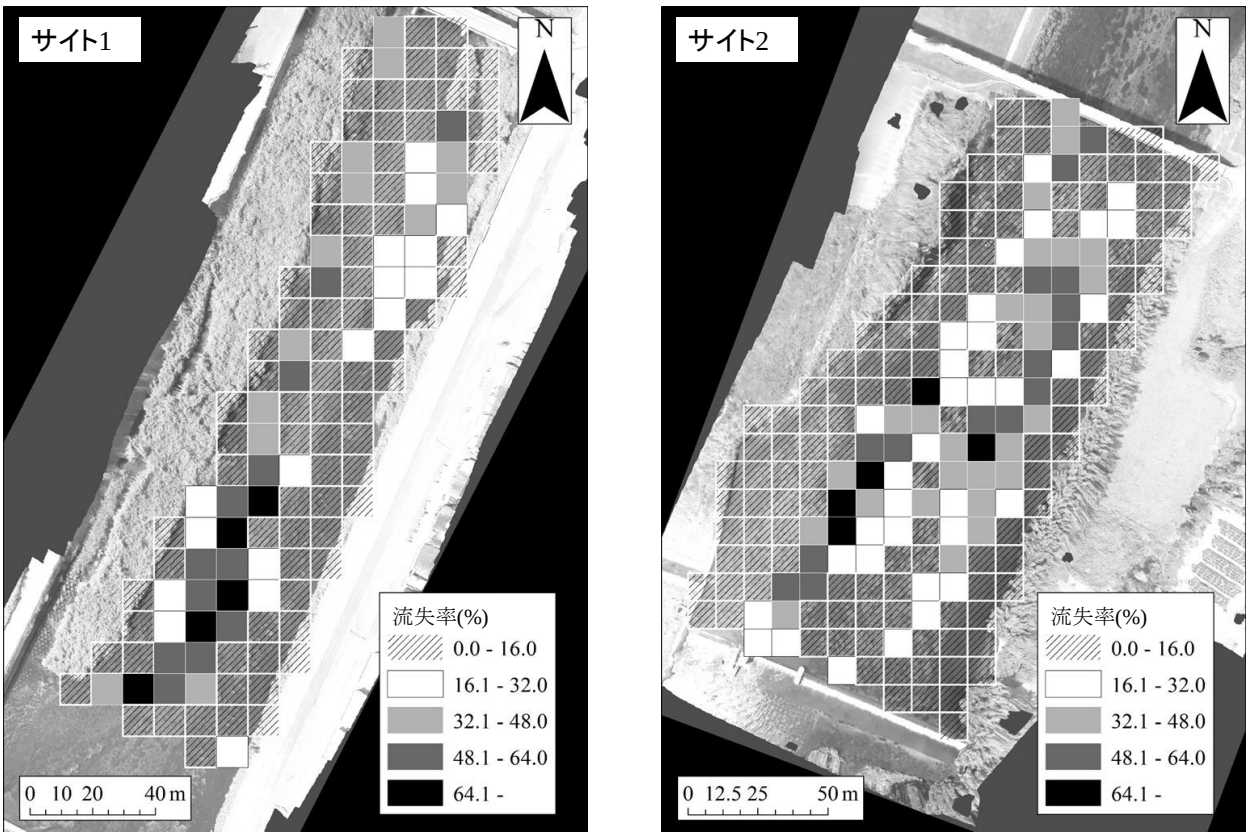

図-3 サイト1およびサイト2のオオカナダモの流失率

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計算から除外した.

(2) 流失を左右する環境条件の抽出

オオカナダモの流失に影響を与える流れ場の条件を明らかにするために，両サイトにおける出水時の流速，掃流砂量，河床変動量，および無次元掃流力の算出をおこなった．これらの算出には，iRICソフトウェアのNays2D Floodソルバーを用いた．計算に用いた地形データは，低水路については，2016年1月4から5日かけて，GNSS（Trimble R4 GNSS，ニコン・トリンブル）を用いて，縦横断方向に約15mピッチで行った測量結果を元に作成した10mメッシュの標高データを用いた．高水敷および堤内については，平成21年7月21日豪雨災害における佐波川流域の土砂災害箇所および佐波川河道内土砂の変動量を調査するために，平成21年9月におこなわれた航空レーザー測量（アジア航測株式会社）によって得られたデータを用いた．両データはArcGIS10.2（ESRI）を用いて結合した．サイト1およびサイト2における境界条件および計算条件については，**表-1**にまとめている．両サイトともに，上流端流量には，2015年8月25日の出水時の観測値を用い（**図-2**），下流端は等流水深とした．河床材料は，平成21年におこなわれた河床材料調査（1kmピッチ）のデータを基準に，両サイトの上下流に位置する2ラインの平均値を用いた．算出した物理量は，流失率との関係性を調べるため，流失率の算出をおこなった際と同様の10m×10mグリッドを用い，グリッド内の平均値を集計した.

3．結果と考察

(1) オオカナダモの流失率

サイト1およびサイト2の流失率の算出結果を**図-3**に示す．両サイトともに，オオカナダモは流心部を中心に流失する傾向が見られ，サイト1では全体では19.9%が，サイト2では全体では18.9%が流失していた．グリッド単位で集計すると，サイト1では最大で75.8%の流失が確認され，サイト2では最大で80.6%の流失が確認された.

(2) 流失を左右する環境条件

オオカナダモの流失を左右する環境条件の算出結果を**図-4**に示す．流失率の算出をおこなった10m×10mグリッド内の平均値を算出すると，流速はサイト1で最大2.91m/s，サイト2で最大2.75m/sとなった．無次元掃流力はサイト1で最大0.20，サイト2で最大0.15となった．河床変動量はサイト1で最大0.44m，サイト2で最大0.36mとなった．掃流砂量はサイト1で最大0.00137m^2/s，サイト2

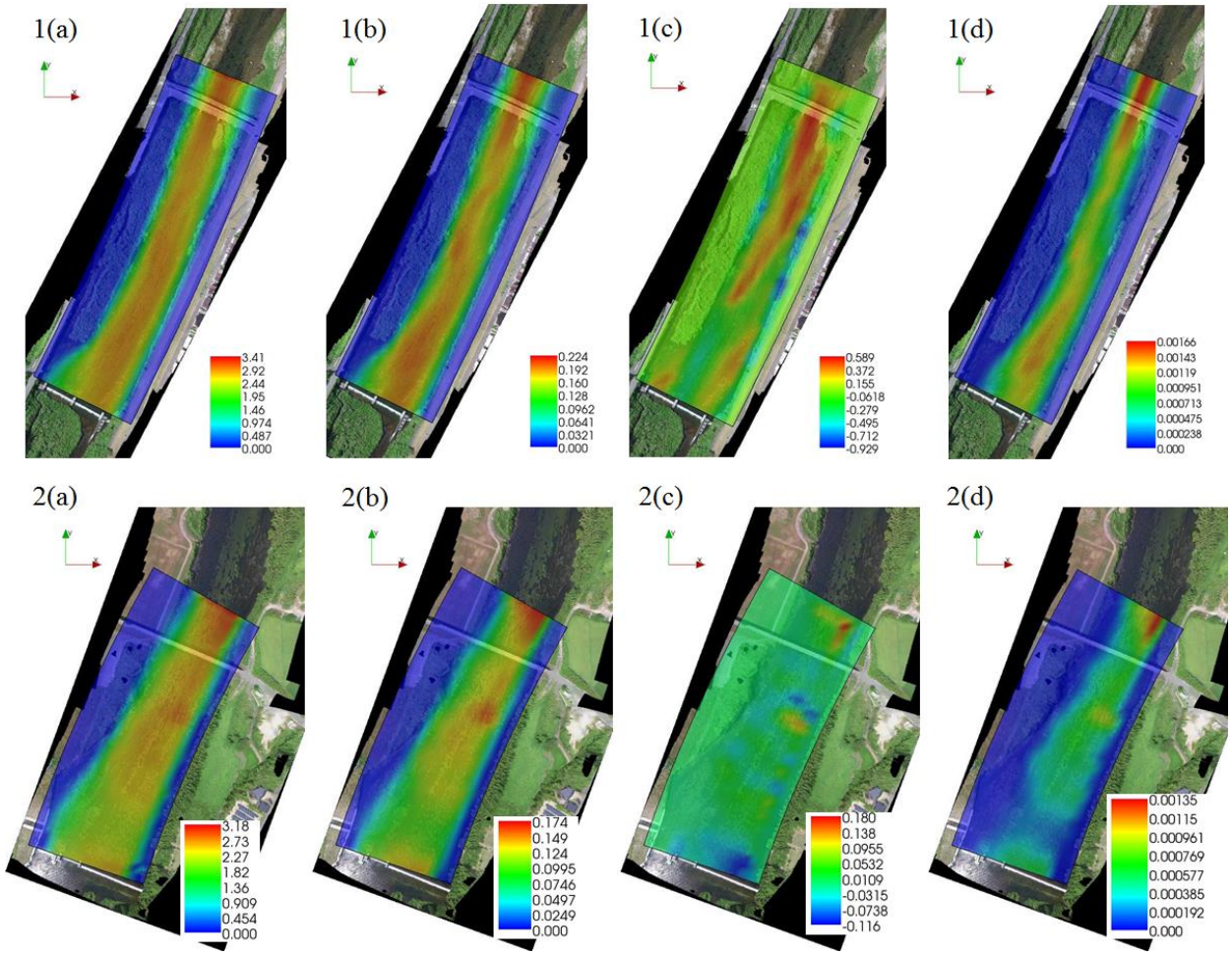

図-4　iRICを用いた数値シミュレーションの結果．1はサイト1，2はサイト2の結果であり，両サイトについて，(a) 流速(m/s)，(b) 無次元掃流力，(c) 河床変動量(m)，(d) 掃流砂量(m²/s)を示している

で最大0.000912m²/sとなった．

オカナダモの流失率と，流速，無次元掃流力，河床変動量および掃流砂量との関係性を示す散布図を**図-5**に示し，単回帰分析の結果を**表-2**に示す．すべての組み合わせで有意差($p<0.001$)がみられ，決定係数(R^2)を基準にした場合は，サイト1では無次元掃流力($R^2=0.304$)，流速($R^2=0.278$)，掃流砂量($R^2=0.270$)，河床変動量($R^2=0.092$)の順に関係性が強く，サイト2では，流速($R^2=0.184$)，無次元掃流力($R^2=0.179$)，掃流砂量($R^2=0.102$)，河床変動量($R^2=0.092$)の順に関係性が強いことが示された．これらの結果から，両サイトともに，流速，無次元掃流力とオオカナダモの流失率の関係性は強く，明確な正の関係性を持っていた一方，掃流砂量については両サイトともに関係性はあまり強くないことが明らかになった．

両サイトにおいて，オオカナダモの流失率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，1.5m/s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．また，流速同様，オオカナダモの流失率との関係性が強かった無次元掃流力に着目すると，岩垣の式を用いて両サイトにおける無次元限界掃流力を算出した場合，ともに0.05であることが示され，両サイトともに，無次元限界掃流力(0.05)を上回った場合，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1.5m/s以上の流速が発生する箇所，あるいは，無次元限界掃流力以上の無次元掃流力が発生する箇所においては，オオカナダモの大幅な流失が起こる可能性が示された．無次元限界掃流力と流失率に明確な関係性がみられたことから，オオカナダモの大幅な流失は，土砂の移動に伴って発生する可能性が高いことが考えられる．しかしながら，本研究結果では，オオカナダモの流失率は，河床変動量および掃流砂量とは関係性が強くなかった．その理由としては，河床材料の粒度を計算区間に一様に与えざるを得なかったことが一因と考えられる．より詳細な粒度分布のデータが入手できれば，河床変動量や掃流砂量でオオカナダモの流失率が説明できるようになる可能性も考えられる．また，流速が1.5m/s，無次元掃量力が0.05を上回っているにもかかわらず，ほとんど流失していない箇所も多く見られ

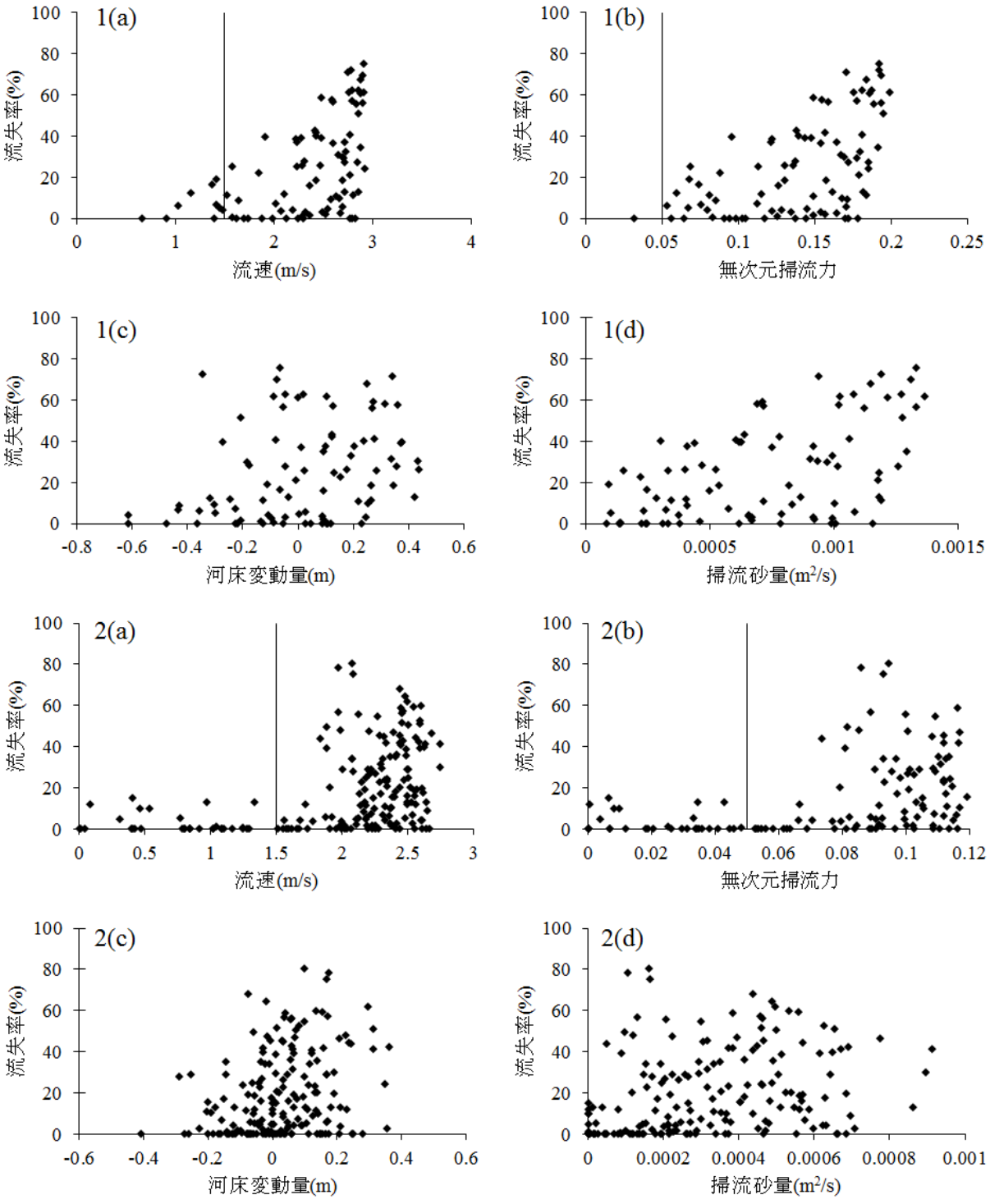

図-5　オオカナダモの流失率と環境条件の関係性．1はサイト1，2はサイト2の結果であり，各サイトについて，（a）流速(m/s)，（b）無次元掃流力，（c）河床変動量(m)，（d）掃流砂量(m²/s)との関係性を示す．（a）流速の図中に示されている黒線は，20%以上の流失が多く発生する目安である1.5m/sを示し，（b）無次元掃流力の図中に示されている黒線は，岩垣の式を用いて算出した無次元限界掃流力(0.05)を示している

た．その理由としては，田中ら[8]の研究例が示しているように，出水によって，オオカナダモのバイオマス自体は減っているにもかかわらず，被度は変化しない場合があることや，オオカナダモが自らの繁茂により細粒土の堆積を促し，堆積した細粒土の存在によって流失を免れている箇所がある可能性が考えられる．被度だけではなく，バイオマスの変化を簡易に捉えられるような手法の開発は今後の課題であろう．

表-2　オオカナダモ流失率と環境条件の単変量解析の結果

	流速	無次元掃流力	河床変動量	掃流砂量
サイト1				
p値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
R^2値	0.278	0.304	0.092	0.270
サイト2				
p値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
R^2値	0.184	0.179	0.092	0.102

4．結論

本研究では，既往の研究によって明らかになっていた佐波川水系におけるオオカナダモの繁茂域において，UAVによる空中撮影によって得られた動画から作成された画像とGISを用いることで，出水によるオオカナダモの流失率を算出することができた．さらに，オオカナダモの流失率を左右する環境条件を明らかにするために，現地調査に基づく地形データを用いた数値シミュレーションにより，出水時の流速，掃流砂量，河床変動量，および無次元掃流力の算出をおこない，オオカナダモの流失率との関係性を検討した結果，オオカナダモの流失率には，流速，無次元掃流力が強く影響を与えていることが明らかになった．これらの結果により，オオカナダモの流失は，土砂の移動に伴って発生していることが明らかとなった．

これらの結果は，土砂の移動が伴うような出水攪乱であれば，オオカナダモの大幅な流失が見込めると同時に，土砂の移動が伴わないような出水攪乱の場合は，オオカナダモの大幅な流失が見込めないこと示している．今後，ダムからのフラッシュ放流によって，オオカナダモの繁茂を抑制する試みがおこなわれる可能性があるが，本研究の結果は，それぞれの現場の粒度や，放流可能な流量から，フラッシュ放流がオオカナダモの繁茂抑制に有効であるかどうかの検討を事前におこなう必要性を示唆するものである．本研究で構築した手法を用いて，対象箇所における流速や無次元掃流力を算出すれば，そのフラッシュ放流が，オオカナダモの流失を見込めるものであるのかどうかを事前に確認でき，場合によっては，置き土を併用することや，人力による駆除に切り替えることを検討することができるため，本研究結果は，今後の河川管理上，有用なものになると言えよう．

謝辞：本研究は国土交通省受託研究「佐波川の河床掘削・堰撤去が河川環境に与える影響の研究，研究代表者：赤松良久」の一環として行われた．また，本研究の一部は，平成27年度河川基金（公益財団法人河川財団）の助成により行われた．本研究に際して，国土交通省中国地方整備局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) 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.
4) 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.
5) 琵琶湖博物館　WEB図鑑「外来生物」：http://www.lbm.go.jp/emuseum/zukan/gairai/data/ookanadamo.html
6) 内田朝子，白金晶子，洲崎燈子，硲 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.
7) 水口雄介，椿涼太，河原能久，松原巧馬：フラッシュ放流による沈水植物の流失特性，土木学会論文集B1（水工学）Vol. 69, No. 4, I_1351-I_1356, 2013.
8) 田中俊介，椿涼太，河原能久，小手川勇太：フラッシュ放流によるダム下流区間における外来沈水植物の流出動態，土木学会論文集B1（水工学）Vol. 72, No. 4, I_1117-I_1122, 2016.
9) 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.

（2016. 4. 4受付）