

渡良瀬川における砂州の樹林化が ハリエンジュの高水敷での定着・拡大に 及ぼす影響に関する基礎的研究

池田 裕一¹・亀田 涼²・飯村 耕介³

¹正会員 宇都宮大学大学院教授 工学研究科 学際先端システム学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: ikeda@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²正会員 いであ株式会社 (〒154-0012 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

³正会員 宇都宮大学大学院助教 工学研究科 地球環境デザイン学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

ハリエンジュによる樹林化傾向が著しい渡良瀬川中流域において、およそ1kmの区間内の高水敷上および砂州上に繁茂している高木群落の各個体の位置座標、胸高直径等を調査し、各個体の樹齢を推定することにより、群落の定着・拡大の時間推移をGIS上に再現した。その結果、1994年頃から砂州上にハリエンジュが侵入して群落が拡大していったこと、砂州上のタチヤナギは1996年頃から出現して個体数が増加していくものの生息範囲は広がらないことがわかった。さらに各年代での平面2次元流の数値解析により、砂州上の群落の流水抵抗のために出水時の水位が上昇して高水敷が冠水した時期と、高水敷上でハリエンジュ群落が定着・拡大を始めた時期が一致しており、砂州上の樹林化により高水敷への定着が促進されることが具体的に示された。

Key Words : *Robinia pseudoacacia L., Watarase River, sand bar, flood plain, settlement, numerical analysis of 2D flow*

1. はじめに

近年、河道内の樹林化が問題になっている。樹林化は洪水時の流下能力の障害やそれに伴う非樹林域への流れの集中など、治水安全度の低下が危惧される¹⁾。また生態学的には、河川本来の生態系の消失が懸念されており、河道内樹林化の適切な管理が要請されている²⁾。河道内の植生管理については、出水の影響を考慮することは極めて重要で、これまで様々な植種の定着、繁殖、枯死に対する出水の影響について研究が行われてきた³⁾。また、出水に伴う地形変化と沿岸植生域との関連性については、生態学的見地からも検討がなされてきた⁴⁾。

本研究が対象とする渡良瀬川においては、ハリエンジュによる樹林化傾向が著しい⁵⁾。ハリエンジュによる急速な樹林の拡大は在来植生の生息域を奪う可能性があるため、河川生態系における生物多様性低下などが危惧されており⁶⁾、適切な管理が求められている。これまでに、伐採や除草剤の塗布、河床整備といったハリエンジュ駆除を目指した様々な管理が試みられている⁷⁾。しかし多くの場合、ハリエンジュの旺盛な繁殖力によりハリエンジュ河畔林は回復しており駆除管

理は成功していない⁸⁾。砂州に2次流路を開削して、中小洪水時においても砂州内部で洪水擾乱を誘発し、砂州の樹林化抑制にある程度の成果を示した例もみられるが⁹⁾、河川の局所的な環境整備にとどまっている。効率的持続的な植生管理のためには、流域全体におけるハリエンジュの生活史を考慮した管理手法を確立する必要がある。そのためには、ハリエンジュの河道内および砂州上への定着、成長、枯死、繁殖について科学的に理解することが不可欠で、これまでも河川におけるハリエンジュの生態について、多くの基礎的研究が様々な観点からなされてきた¹⁰⁾¹¹⁾。

渡良瀬川における特徴としては、冠水頻度の低い高水敷だけでなく、冠水頻度の高い低水路内の砂州上においても繁茂する例が見られ、これが河道内樹林化を促進する要因となっていると推測されているが、その具体的なメカニズムについては不明な点が多い。著者らはこれまで渡良瀬川の中上流部において、出水の影響のあった砂州とその周辺に繁茂するハリエンジュについて毎木調査を実施し、その定着・拡大過程と出水との関係について基礎的な検討を行ってきた¹²⁾¹³⁾。その際に、砂州の樹林化の影響によって出水時に高水敷が冠水し、高水敷の樹林化を促進することは定性的に

推察されたものの、定量的に検証するまでには至らなかった。そこで本研究では、これまで明らかにした樹林化過程を再整理するとともに、年代ごとの植生分布に対して2次元流れの数値解析を行い、砂州の樹林化が出水時の流況に与える影響を具体的に明らかにするものである。

2. 群落の定着・拡大過程の調査

(1) 調査地点および方法

調査地点は渡良瀬川中流部(利根川合流点より約49.5km 地点)で、群馬県桐生市の桐生大橋と錦桜橋に挟まれた区間のうち、下流側半分の長さおよそ1kmの区間とした(図-1)。調査は2011年10月~2012年1月と2012年10月~2013年1月の2か年にわたって実施した。

この区間では、高水敷上および低水路内の砂州上にハリエンジュ、同じ砂州上にヤナギ類(主としてタチヤナギ)が繁茂しており、図-1のようにA~Dの4つのエリアに分けて調査を行った。エリアA, B, Cはそれぞれ、砂州上でハリエンジュが優占している領域、砂州上でヤナギが優占している領域、高水敷の肩部分で比較的比高が高くハリエンジュが優占している領域で、ハリエンジュ(420本)とヤナギ(480本)の毎木調査を行い、各個体の位置座標、胸高直径等を測定した。エリアDは年輪調査のみの領域で、約30本の個体について、胸高直径と樹高を測定し、胸高切断面での年輪を数えた。エリアDでの調査結果から、エリアA, B, Cにおける各個体の胸高直径から樹齢を推定した。

また、調査地点の左岸側堤防から横断的に3測線を設定し断面測量を行った。図-1に示した①~③の矢印線は、測線のおおよその位置を示したもので、それぞれエリアC, B, Aの群落中心部付近を通るようにした。結果を図-2に示す。

(2) 個体の平面分布の時間推移

エリアDでの年輪調査から、樹齢と胸高直径がおおよそべき乗の関係になることがわかった¹²⁾。その関係を用いてエリアA, B, Cの各個体の樹齢を推定した。図-3はエリアCにおける樹齢の個体数分布を示したもので、ハリエンジュがエリアCに初めて定着したおおよその時期が13年前であることがわかる。同様にして、エリアAのハリエンジュとエリアBのヤナギが初めて現れたのが、それぞれ17年前、15年前であることがわかった。またエリアCでは5~6年前に顕著なピークがあり、初めて定着してから7~8年後に群落の個体数が大きく増加したことになる。

図-4は、各個体の樹齢をもとに、各年に存在したと推定される個体の位置座標を空中写真上にプロットして、個体の平面分布の時間推移を示したものである。図中、青色~水色のプロットはハリエンジュの個体を示しており、青色から水色になるにつれて樹齢が若い。赤色~オレンジのプロットはヤナ

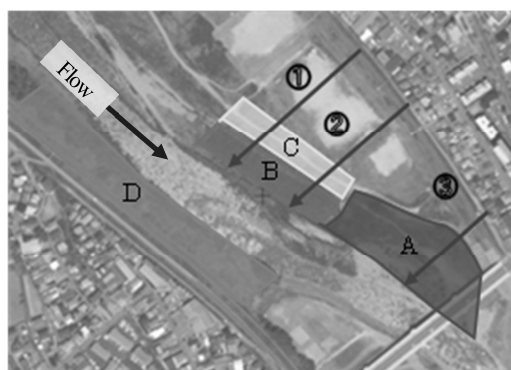


図-1 調査地点と調査エリア

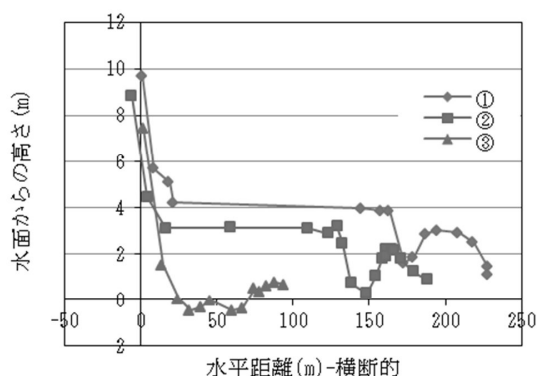


図-2 断面測量結果

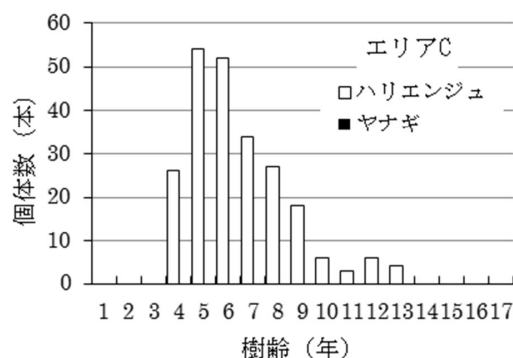


図-3 エリアCにおける樹齢の個体数分布

ギの個体を示しており、赤色からオレンジになるにつれて樹齢が若い。

これよりエリアAでは、初めて定着した個体の下流側に群落広がっているといえる。これは、定着した個体の下流側には細粒土砂が堆積し、上流側から漂着した種子の萌芽・定着に良好な環境が整えられていくとともに、定着後数年して種子を散布するようになるためと考えられる。

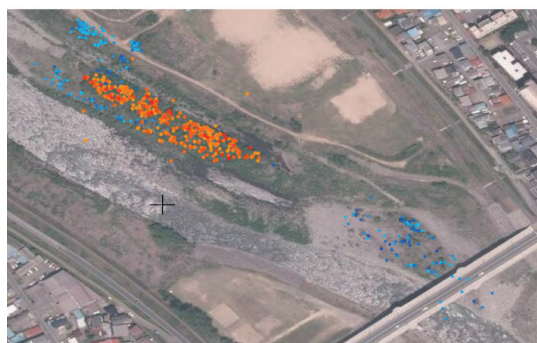
エリアBでは、ヤナギが個体数を増加させていくのがわかるが、群落の範囲はほとんど変わらず、生息密度のみが高く



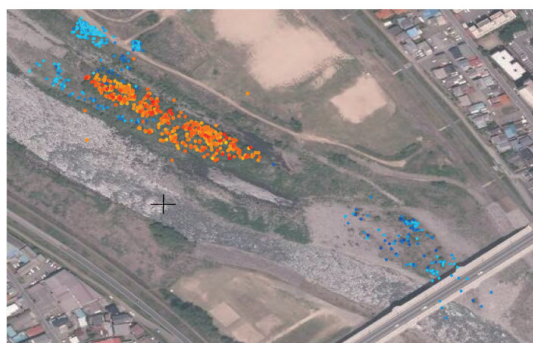
(a) 1996年



(d) 2001年



(b) 2006年



(c) 2011年

図-4 ハリエンジュとヤナギの平面分布の時間推移

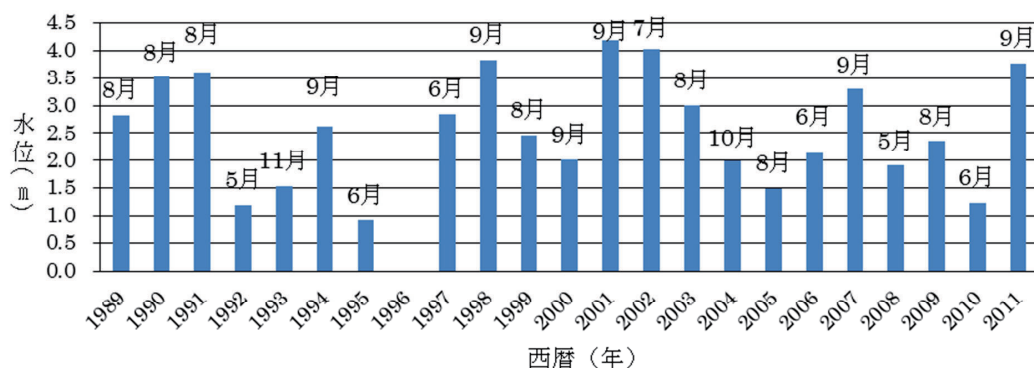


図-5 年最高水位の変化

なる傾向にある。エリア B のヤナギ類はほとんどが高木類のタチヤナギであり、比較的比高が高い場所を好んで生息する。図-2をみるとわかるように、砂州の頂部の比高が2m前後で、比高がさほど高いとはいえず、これ以上比高の低いところへ群落を広げていくことは困難なのであろう。

エリア C では、最初は群落の下流側で繁茂し始めていたが、その後大きく増加したのはエリア C の上流側であることがわかる。エリア C の比高はエリア A、B よりも約3m高いが(図-2参照)、調査時には群落全体に渡り、根元に漂着物が堆積しているのが見られた。これは2011年9月の台風15号による出水時に冠水したものと考えられる。

(3) 出水との対応

図-5は、調査地点の上流にある高津戸(渡良瀬川56.0km地点、零点高 Y.P.146.27m)および下流にある葉鹿橋(渡良瀬川42.16km地点、零点高 Y.P.51.75m)での観測データを直線補間して、調査地点での年最高水位の変化を示したものである。この図より、エリア A でのハリエンジュが定着した約17年前において、図-2の測線③の砂州頂部の比高(約1m)を有意に超えているのは、1994年のものである。その後2年間は大きな出水はないので、この間に漂着した種子から発芽あるいは個体の一部から萌芽したものと推察できる。

エリア C については、図-2の測線①、②の高水敷の比高

が 3m 以上なので、これと同程度以上の出水は、1998 年、2001 年、2002 年、2011 年である。エリア C にハリエンジュが現れたのが約 13 年前であるから、これに関連したのは、1998 年の出水と考えられる。ただし、その 3 年後の 2001 年にも大きな出水があり、その影響で群落の発達がやや阻害されたと考えられる。ただし、2002 年に降しばらくは、目立った出水はない。ハリエンジュは 4 年程度生育すれば種子散布が可能になり、群落は大きく発達することが知られている¹⁰⁾¹³⁾。以上より、エリア C では、最初の定着は 1998 年ではあるが、2001 年、2002 年での出水後に本格的な定着・拡大が始まったものと考えられる。

3. 2次元流況の数値解析

上述の調査結果より、出水により各エリアに種子が漂着して発芽することで、ハリエンジュが定着した傾向をおおよそ推測することができた。ただし、エリア C では定着・拡大が上流側に限られており、これについては調査結果のみからでは実証的な説明はできない。エリア C への定着に関連した 1998 年の出水時には、すでにエリア A、B においてハリエンジュおよびヤナギの群落が発着・拡大を始めており、これによる流水抵抗のために、特にエリア B の先端での水位が上昇し、エリア C 上流側の冠水を促したと推察される。これを定量的に検証するために、平面 2 次元流の数値解析を行い、出水時の流況の再現を試みた。

(1) 解析手法および条件

数値解析には、河川シミュレーションソフト「i-RIC」を用いた。各年の流量については、観測データより、定常流量・ピーク流量を表-1 のように設定した。各年とも定常流からピーク流量までは 30 分間で直線的に増加し、その後 30 分間はピーク流量を維持して、流況がほぼ安定するようにした。地形データ

については、出水年度に一致するものがない場合もあったので、表-1 に示すような年度の断面測量データを用いた。

計算領域は、48～51km の区間とした。図-6 に、調査区間近傍の計算格子の配置を示す。格子の配置は同じでも、それに伴う地形データは各年で異なるので、計 5 通りの計算格子を作成して解析を行った。またエリア A、B の領域には植生抵抗を配置した。今回の調査で求めた樹齢・胸高直径の関係と自己間引きを考慮して、樹木の直径と立木密度を推定することにより、各年での植生抵抗の係数値を設定した。

(2) 解析結果および考察

図-7(a)～(e)に解析結果から得られた水深コンター図を示す。1994 年出水においては、エリア A、B の砂州への冠水が確認できる。これによって、エリア A へのハリエンジュの初期定着が促されたのだと考えられる。エリア C への冠水は見られない。流量が小さく、エリア A、B の高木群落も若くて流水抵抗が小さいためである。

1998 年出水においては、エリア B の上流端付近から水深が増加してエリア C が冠水し、これより下流の高水敷一帯に水が乗り上げている。1994 年に比べて流量が 1.5 倍程度であり、エリア A、B の流水抵抗も増加しているためであろう。2001 年出水においても、同様にエリア C および高水敷が広く冠水している。このときの流量は、今回の数値解析では最大であり、エリア A、B の流水抵抗は 1998 年よりさらに大きくなっているためである。

2002 年出水においては、調査区間より上流の高水敷は冠水しているが、エリア C の手前で低水路側に流下し、エリア C は高水敷の肩の部分に冠水したのみである。2011 年出水においても、同様である。これら 2 つの出水は、1998 年出水と同程度あるいはそれ以上の流量規模であったが、エリア C を十分冠水させるにはいたらなかった。

表-2 に、数値解析結果におけるエリア C の冠水状況を整理したものを示す。ここで、エリア A、B の流水抵抗は、年ごと

表-1 計算に用いた流量と断面測量データの時期

出水時期	定常流量 (m³/s)	ピーク流量 (m³/s)	横断測量 実施年度
1994 年 9 月	10.35	850.42	1995
1998 年 9 月	10.31	1262.49	1998
2001 年 9 月	10.11	1820.74	2001
2002 年 7 月	11.09	1569.03	2002
2011 年 9 月	10.00	1200.50	2008

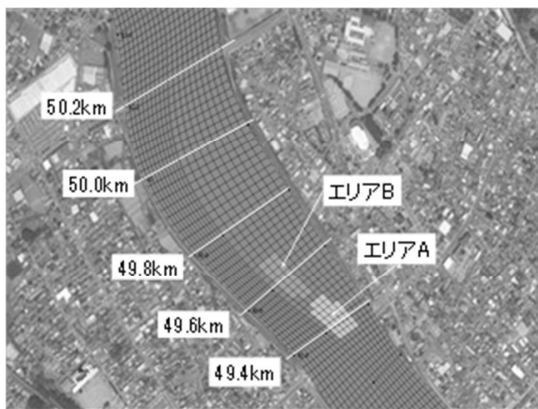


図-6 計算格子

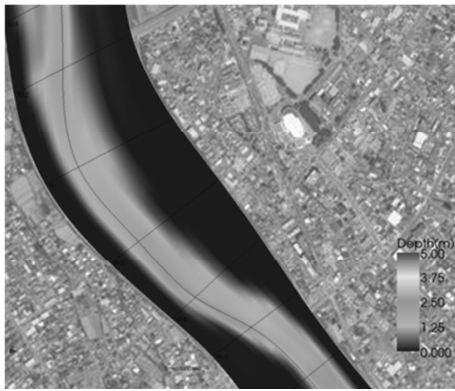


図-7 (e) 1994 年出水での水深コンター

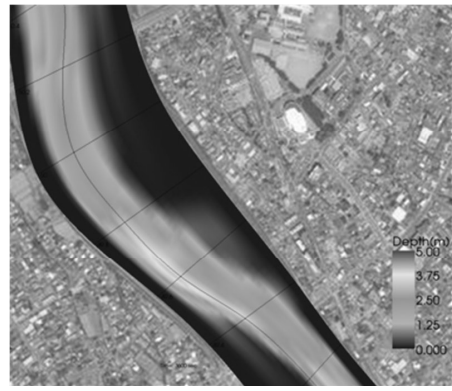


図-7 (d) 1998 年出水での水深コンター

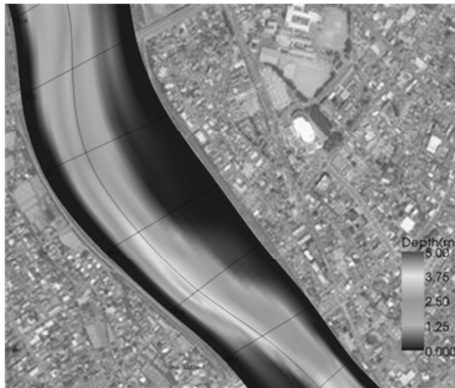


図-7 (b) 2001 年出水での水深コンター

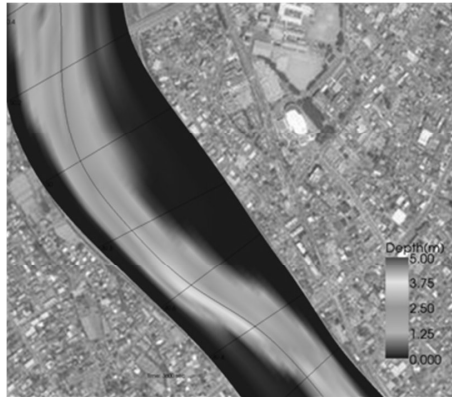


図-7 (a) 2002 年出水での水深コンター

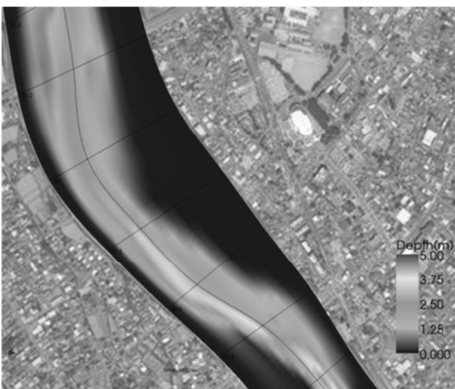


図-7 (c) 2011 年出水での水深コンター

表-2 数値解析における冠水状況

出水時期	流量規模	エリアA,Bの 流水抵抗	エリアCの 冠水の程度
1994年	小	小	冠水なし
1998年	中	中	冠水
2001年	大	大	冠水
2002年	やや大	中	一部冠水
2011年	中	大	一部冠水

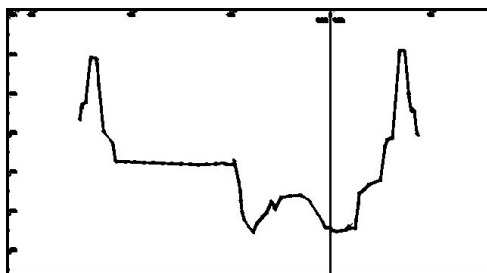


図-8 (a) 1998 年における 49.6km 地点の横断地形

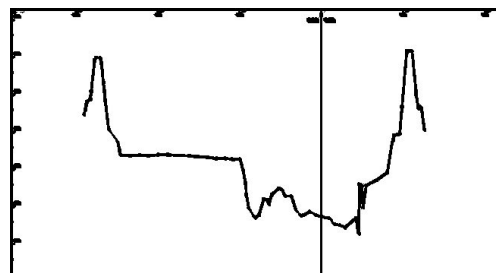


図-8 (b) 2002 年における 49.6km 地点の横断地形

に増加すると考えがちであるが、実際には、胸高直径は増加するものの、立木密度は減少していくので、単純な変化はしない。2002 年では、1998 年と同程度の流水抵抗になっている。それでも 2002 年のほうが 1998 年よりも流量が大きいにも関わらず、1998 年のようにエリア C が冠水しない。これには、植生による流水抵抗と流量以外の要因があると考えられる。

たとえば、図-8(a), (b)は、各年における 49.6km 地点の横断地形を示したものである。1998 年は砂州が低水路のほぼ中央にあるのに対して、2002 年では右岸側に寄っている。ここに同程度の植生による流水抵抗が配置された場合、流れを中央で 2 分する配置のほうが、流れの片側に配置されるよりも、河道全体の流水抵抗は大きくなり、水位の上昇を招くことになる。

4. おわりに

本研究では、ハリエンジュの繁茂が著しい渡良瀬川において、特に高水敷での定着と出水時の流況との関連性について検討を行い、以下のような知見を得た。

- 1) 高水敷上のハリエンジュ群落は、大きな出水により種子が漂着し、その後4年間に目立った出水がなければ、種子生産が可能になり、著しく増加するようになる。
- 2) 高水敷が冠水して種子が侵入するには、流量だけでなく、砂州の樹林化による流水抵抗の増加の影響が大きい。
- 3) 砂州をなるべく片側に寄せるように成形すれば、河道全体の流下能力が向上して高水敷への冠水頻度は低くなり、砂州上の群落への対策も講じやすい。

今後は、このような流れと群落との相互作用をシミュレーションしながら、長期的な維持管理方針を検討できるようにしていきたい。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省渡良瀬川河川事務所には貴重な資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団：河川の植生と河道特性，河川環境総合研究所資料第1号，1995.
- 2) 外来種影響・対策研究会：河川における外来種対策の考え方とその事例，(財)リバーフロント整備センター，2011.
- 3) Asaeda, T., Gomes, P. I. A. and Takeda, E.: Spatial and temporal tree colonization on a midstream sediment bar and the mechanism governing tree mortality during a flood event, *River Res. Applic.*, 26, pp.960-976, 2010.
- 4) Gurnell, A.: Plants as river system engineers, *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.3397, 2013.
- 5) 清水義彦，小葉竹重機，岡田理志：ハリエンジュの動的河道内樹林化について，*水工学論文集*，Vol.45，pp.1099-1104，2001.
- 6) Maekawa, M. and Nakagoshi, N. : Riparian landscape changes over a period of 46 years, on the Azusa River in Central Japan, *Landscape and Urban Planning*, 37, pp.37-43, 1997.
- 7) 崎尾 均：ニセアカシア(*Robinia pseudoacacia* L.)は溪畔域から除去可能か？，*日本林学会誌*，85，pp.355-358，2003.
- 8) 黒河内寛之：ニセアカシア河畔林の繁殖生態，*森林遺伝育種*，1，pp.13-16，2012.
- 9) 松田浩一，内堀寿美男，清水義彦，石原正義，藤堂正樹：固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究，*河川技術論文集*，第16巻，pp.235-240，2010.
- 10) 高橋文，小山浩正，高橋教夫：赤川流域におけるニセアカシア(*Robinia pseudoacacia* L.)の分布拡大と埋土種子の役割，*日本林学会誌*，90，pp.1-5，2008.
- 11) Masaka, K. and Yamada, K. : Variation in germination character of *Robinia pseudoacacia* L. (Leguminosae) seeds at individual tree level, *Jour. For. Res.*, 14, pp.167-177, 2009.
- 12) 池田裕一，亀田涼，浅枝隆，坂本健太郎：渡良瀬川砂州上におけるハリエンジュの繁茂状況に関する基礎的調査，*河川技術論文集*，第18巻，pp.71-76，2012.
- 13) 池田裕一，亀田涼，飯村耕介，石ヶ森渉，宍戸彩：渡良瀬川砂州上におけるハリエンジュとヤナギの競合に関する基礎的調査，*土木学会論文集G*，Vol.69，No.6，pp.II_265-II_274，2013.

(2014. 7.11 受付)

BASIC STUDY ON THE INFLUENCE OF SAND BAR TREE COLONIZATION ON FIXATION OF ROBINIA PSEUDOACACIA L. ON FLOODPLAIN IN WATARASE RIVER

Hirokazu IKEDA, Ryo KAMEDA, and Kosuke IIMURA

A field investigation was performed on fixation of *Robinia pseudoacacia* L. on a flood plain in Watarase River. The location, breast high diameter of each individual was measured, the age was estimated with empirical formula, and then, the fixation process of the communities were reviewed on GIS. Numerical simulation of 2D flow was also performed, which clarified that flow resistance of vegetation on the sand bar made water level raising. The simulation results also indicate that not only the discharge and vegetation resistance but also the location of the sand bar is important for submergence on floodplain.