特集「外来種と植生管理」

なぜハリエンジュは日本の河川流域で分布を拡大したのか？

崎尾 均*

新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University

摘要：ハリエンジュは日本に導入されてから、山地砂防、海岸林や鉱山煙害地の緑化を目的として植栽されてきた。近年、これらのハリエンジュは河川流域を中心に分布を広げ、河川生態系に大きな影響を与えている。ハリエンジュの分布拡大には生活史特性が大きく関わっている。種子には休眠種子と散布後すぐに発芽できる非休眠種子がある。上流域のハリエンジュから散布された種子は洪水によって中下流域に散布され、新たに出現した河川の砂礫地で発芽し定着する。一旦定着したハリエンジュの実生の生長速度は早く、数年で開花結実する。この速い生長速度は高い光合成能力に依存している。ハリエンジュの実生は急速に伸長した水平根から根萌芽を発生させ分布を拡大している。このように、日本に導入されたハリエンジュは、その特異的な生活史特性によって急速に河川流域に分布を拡大してきた。

キーワード：休眠種子、洪水、侵略的外来種、ハリエンジュ、根萌芽

SAKIO, Hitoshi: **Why did the black locust expand broadly at the river basin in Japan?**

Abstract: Since it was introduced to Japan, the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) has been used for controlling erosion and restoring copper mine and coastal forests. Recently, it has spread to river basins throughout Japan, threatening river ecosystems. The unique life history of the black locust can explain its spread. It has both dormant and non-dormant seed types, which can germinate immediately after dispersal. Seeds produced upstream were found to be carried downstream by water flow, and seed germination often occurred on new fine deposits after flooding. Black locust trees initially grow very quickly, but only bloom some years later. This early growth is dependent on a high photosynthetic rate under optimal conditions. Many root suckers emerge from horizontal roots, extending away from the mother tree and eventually expanding into new patches. Thus, this alien species has expanded its range downstream due to its unique life-history strategy.

Key words: Dormant seeds, Flooding, Invasive alien species, *Robinia pseudoacacia*, Root sucker

1. はじめに

生物学的侵入とそれによってもたらされる生物相の均質化は、世界的にも生態系の構造、機能や生物多様性に大きな影響を与えている⁹⁾。このような外来種の中で日本に導入されてから、その分布を著しく拡大し、生態系に大きな影響を与えている植物の一つにハリエンジュがある。ハリエンジュが日本に導入されてから、1世紀以上経ったが、日本中の多くの河川流域で分布を拡大し続けている^{36, 54, 58, 64, 68)}。河畔林の群落構造に大きな影響を与えただけでなく⁴⁷⁾、景観や生物多様性にも大きな変化を引き起こしている⁴⁶⁾。また、種多様性^{42, 85)}やアレロパシーに関しては様々な議論があるものの⁴⁸⁾、ハリエンジュには強いアレロパシー活性があり、その林床の土壌は幼根伸長を阻害することが知られている¹⁰⁾とともに、実際にハリエンジュの林内の種多様性が低い場合があることも報告されている⁴⁷⁾。近年問題になっている河川の森林化の原因の一つとしてもハリエンジュの分布拡大が指摘されてい

る^{19, 60)}。そのために、ハリエンジュは日本の侵略的外来種ワースト100に選定されるとともに⁶³⁾、2004年に公布された外来生物法（特定外来生物による生態系等にかかる被害の防止に関する法律）において特定外来生物や未判定外来生物に指定されていないものの、別途総合的な取組みを進める緑化植物として要注意外来生物リストに掲載されている³²⁾。そのために除去の取り組みが全国で試みられている^{17–19, 39, 57, 71, 75, 80–82)}。また一方で、ハリエンジュの花は養蜂の蜜源として珍重されている^{61, 86)}とともに、材は薪炭として用いられた¹⁵⁾。本論文では、日本においてハリエンジュがどのようにして河川流域に分布を拡大していったのか、その生活史特性に焦点を当てて拡大メカニズムについて解説する。

2. ハリエンジュとは？

ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.)、別名ニセアカシア（通称：アカシア）はマメ科の落葉高木である。樹高は20 mに達し、葉は3 cmほどの楕円形の小葉からなる奇数

羽状複葉で互生する。5月頃、白い総状花序をたくさんつけ、豆果は長さが8 cm程度で10月頃に熟す。花は日本においてはレンゲに替わる重要な養蜂業の蜜源となっている⁶¹⁾。原産地はアメリカ合衆国東部の南アパラチア山脈とオザーク台地で³³⁾、ヨーロッパには1636年に伝った。属名のRobiniaは、リンネがハリエンジュを育成したパリの宮廷園芸家Jean Robin父子を記念して命名した⁸⁴⁾。自然状態では河川や林縁に分布する³³⁾。強い光環境下で生長するパイオニア樹種^{3, 4)}で、皆伐跡地、放牧放棄地、道ばたなど人為攪乱を受けた場所に侵入するが生長速度は10-20年で減少し、せん孔虫により死亡することが報告されている⁴⁾。

3. ハリエンジュ導入の歴史

ハリエンジュは1873年に津田仙によって日本に持ち込まれ⁸⁴⁾、街路樹⁸⁴⁾、砂防樹種⁵⁹⁾や海岸防災林^{47, 88-90)}として日本で広く植栽された。その花は養蜂の蜜源として、材は薪炭として用いられた¹⁵⁾。最初は公園緑化樹として植栽されたが、河川上流域の荒地地緑化にも使われはじめた^{1, 59)}。長野県松本市の牛伏川流域は日本で最初にハリエンジュが導入された地域の1つで、現在では流域の植生景観を構成する主要な樹種となっている^{14, 45, 59)}。関東平野を流れる荒川の上流域で1944年には中州でハリエンジュが優占していたことも報告されている⁶²⁾。秋田県小坂銅山⁸¹⁾や栃木県足尾銅山^{53, 83)}の荒地地緑化にも使われ一定の効果を上げている。その結果、日本ではすべての都道府県で移入分布が確認されている^{36, 64)}。

4. ハリエンジュの生活史特性

4.1 開花・結実特性

ハリエンジュは5月から6月にかけて新枝に両性花からなる総状花序を着ける²⁷⁾。毎年、開花・結実するようであるが、経年変化のあることが知られている²⁰⁾。開花・結実は、3-4年の若齢から見られる(崎尾:未発表)。多摩川の永田地区での研究では、十分な昆虫の訪花がある中でも結実率があまり高くならないことが報告されている⁸⁷⁾。練ほか^{43, 44)}はこの調査地の近くでハリエンジュの遺伝的な構造を調べ、群落が比較的大きなクロンを形成していることを示した。低い結実率は、ハリエンジュの自家不和合性が高いために、根萌芽で形成された大きなクロンの群落内の花どうしでは受精できないことが原因かもしれない⁸⁷⁾。

4.2 種子・発芽特性

ハリエンジュの種子には30-90%の割合で難透水性の種皮を持つイシダネ(硬粒)が含まれている²⁷⁾。そのために発芽促進の前処理が必要とされている^{56, 93)}。高橋ほか⁷⁶⁾は、ハリエンジュの種子の吸水、発芽実験を行い、無処理でも発芽する非休眠種子と種子への傷つけ処理で発芽する休眠種子のあることを確認した。この2種類の種子は、形態的な差異がないことから隠蔽的な種子異型性を持っている。また、休眠種子は土壌シードバンクの形成に貢献することを示唆している⁷⁷⁾。これらの種子の内、非休眠種子は種子散布期の初期(8月頃)に多く、それ以降の種子には休眠種子の割合が多

い。唐木ほか²⁸⁾は、2005年に結実しそのまま枝に保持されていた種子と2006年に結実した種子を2006年秋に採取し、前年の種子の吸水率が著しく低いことを明らかにした。この2年間の種子の表面構造を走査型電子顕微鏡写真によって比較したが違いは見られなかった。このことから、ハリエンジュの種子は結実後の時間経過によって種皮内部の組織構造が変化している可能性があるとしている。また、物理的休眠の解除には、種阜の部分に亀裂が生じ、そこから吸水していると推察している²⁹⁾。発芽実験において、非休眠種子は9月と10月の播種では当年の秋に実生が発生し、それ以降の播種では翌年の春に発生する⁵⁾。また、個体によって種子の発芽パターンが大きく異なるとともに、熱刺激に対する種子の応答も異なることが知られている⁵⁰⁾。

一方、散布後期には、裂開し母樹下に落下して土壌シードバンクを形成する³⁸⁾。このようにハリエンジュは2つのタイプの種子を生産することで、分布拡大と将来への保障という二つの戦略を取っている。ハリエンジュ林の林床土壌には、土壌シードバンクが形成されていることが報告されている^{8, 11, 78)}。高橋ほか⁷⁸⁾は、山形県の赤川流域でハリエンジュ林とそれ以外の樹種の林床下の土壌の埋土種子を比較した。ハリエンジュ林冠下の埋土種子が64.1粒/m²であったのに対して、オニグルミ(*Juglans mandshurica* var. *sachalinensis* Kitam.)など他樹種の林冠下ではわずか1.5粒/m²であった。このことから、土壌シードバンクはハリエンジュが成立している立地での再生・維持機構には有効であるが、新規の立地への分布拡大には貢献していないと結論づけている。

4.3 種子散布

種子散布型は重力もしくは風散布に分類されている²¹⁾。Morimotoほか⁵⁵⁾も、大部分の種子は莢ごと重力および風散布によって土壌シードバンクが形成されることを報告している。また、未裂開や裂開後も種子が付着したままの莢果が、風に乗って長距離移動することも観察されている⁹¹⁾。冬季間、莢果ごと比較的障害物の少ない雪面上を風に乗って移動する二次散布の可能性も指摘されている⁵¹⁾。

一方で、水散布も行われている。散布初期には裂開しないで、莢果ごと水散布される可能性が示唆されており³⁸⁾、実際に溪流で莢果の流水散布が確認されている^{37, 45)}。実験によっても莢付きの種子の方が、種子単独よりも静水条件、乱流条件ともに長期間水に浮いていることが確かめられた⁶⁾。また、ハリエンジュの発芽が季節に関わらず洪水後の砂礫地で生じていることから、種子の流水による散布の可能性も高い¹²⁾。これらの種子は上流域で土壌シードバンク化したものが、土砂と一緒に流されてきたことも考えられる。練ほか⁴⁴⁾は、荒川の上流域で最も古く植栽された個体群の葉緑体ハプロタイプのいずれもが下流の個体群で確認されたことから、河畔林のハリエンジュ林は河川によって散布された種子が定着し成立した可能性を指摘している。

4.4 発芽のメカニズム

ハリエンジュの種子のうち、休眠性の種子の発芽は、ある程度的高温や種皮が何らかの物理的損傷を受けることで促進

される。Sadhu & Kaul⁽⁶⁹⁾は、ハリエンジュの種子の休眠解除には物理的種皮の切断、硫酸処理、熱湯による温熱処理が効果的としている。種皮の切断によって約 80% の、1 分程度の濃硫酸処理で約 80%、1 分の熱湯処理によって約 60% の発芽率を得ている。いずれの処理のコントロール実験でも 25% 程度の発芽率が得られていることから、これらの発芽種子は非休眠種子であった可能性が高い。苗木生産のために播種する際にはあらかじめ硫酸処理か熱湯処理によって発芽促進を行っている⁽⁹³⁾。川西ほか⁽³¹⁾の実験でも物理的損傷つまり針による穴開け処理を行うとほぼ 100% の発芽率が得られている。川西ほか⁽³¹⁾は、実際の河川での休眠解除のメカニズムを明らかにする目的で種子の損傷による休眠解除実験を行った。ポリエチレン瓶の中に種子、砂（粒径 1-2 mm）、礫（粒径 2-4 mm）、水を混合させて振とう処理を行った。その結果、礫と水に混合させて 5 時間振とうすることで 80% の高い発芽率を得ることができた。しかし、砂と水では 20% の発芽率であった。これらのことは、洪水などの際に、種子と礫が混合して流下すれば、種子の休眠解除がおこることを示唆している。

ハリエンジュの発芽には光を必要とせず（崎尾：未発表）、暗い林冠下でも発芽する可能性がある。高橋ら⁽⁷⁷⁾は野外実験において非休眠種子が林内において秋に発芽することを確認している。実際の河川敷でのハリエンジュの発芽を調査した研究は少ないが、ハリエンジュ林の林床では、ほとんど実生はみられない。これは、林内では秋に非休眠種子が発芽しても、ほとんど生存できないからと思われる。福田ら⁽¹²⁾は、埼玉県荒川中流域の中州において、2001 年 9 月から 2003 年 12 月までハリエンジュの発芽個体の追跡調査を行った。発芽は、洪水後の河川敷の砂礫地において確認されている。発芽は 2001 年 9 月 10 日、2002 年 7 月 10 日、10 月 1 日におこった台風による増水の直後に生じ、季節性は見られなかった。このように発芽は増水後の新たな堆積物上の粗砂に限られ、シルト質の細かな土壌や数センチの大きな礫では発芽は見られなかった。これは洪水の際に、種皮に傷が付き、水の吸収が促進され休眠が解除したと考えられる。これは川西ほか⁽³¹⁾の実験結果からも支持される。

ハリエンジュは原産地では山火事に適応した生態を有すると言われている⁽⁴⁾。日本ではハリエンジュの多い山林で冬季に焚き火を行ったところ、春先に大量の実生が発生したことが報告されている⁽⁴⁰⁾。川西ほか⁽³¹⁾は、河川敷における火入れの際に、ハリエンジュの種子の休眠解除が生じるかどうか実験を行った。地表と地下 3 cm に種子を設置し、火入れが行われる地域と行われない地域で発芽率を比較した。火入れ区の地表に設置した種子では死亡率が高かったものの、残存した種子の発芽率は火入れを行わなかった区と比較して有意に高くなった。地下 3 cm に埋設した種子では死亡率は 0% に近く、発芽率も低いままで差がなかった。このように火入れによって地表の休眠種子の解除が行われるものの、日本においては恒常的な山火事などがいないために、ハリエンジュの更新や分布拡大にはそれほど影響はないと考えられる。

4.5 生長特性（光環境）

光環境の良い場所でのハリエンジュの初期生長の早さはよく知られている。苗畑で播種した 1 年生苗の苗長は平均 50 cm⁽⁹³⁾と生長は早い。久保田⁽⁴¹⁾は広葉樹 79 樹種の種子を播種してその年の秋に苗高を測定しているが、ハリエンジュはこれらの中で最も生長が早く平均 53 cm の苗高を示した。2002 年 7 月に荒川の河川敷で自然発芽した実生の高さは秋にはわずか 8 cm 程度であったが、翌年の秋には 140 cm に、2006 年の秋には 550 cm となり、胸高直径も 8 cm を越えた⁽¹³⁾。

一方、光制限のある場所での生長は抑制されることが知られている。ハリエンジュ苗木の被陰試験によれば、相対照度の減少とともに苗木の樹高、直径、個体重量、生存率が減少し、特に相対照度 10% では樹高、直径生長ともにいちじるしく小さく、2 年後の生存率は 15% と低いことから、相対照度で 10% 以下の被陰で萌芽の発生や生長の抑制効果があると結論づけている^(23, 24)。また岩井⁽²³⁾は切株からの地上部発生萌芽の被陰試験を行い、相対照度 2.4% 及び 6.2% では萌芽の発生した株数も少なく、萌芽発生の翌年にはすべて枯死してしまうことを報告している。崎尾⁽⁷¹⁾は、伐採されたハリエンジュの切株や水平根から発生した根萌芽の生存を追跡し、在来樹木の林冠の発達に伴った林床の光の減少によって、発生した大量の萌芽がしだいに枯死していくことを明らかにしている。このようにハリエンジュの実生や萌芽の生長には強光を必要としていることが明らかになっている。

ハリエンジュの生理生態特性はいまだに不明な部分が多い。明るい林外に生育する個葉の光飽和状態での光合成速度は、北海道に自生する 30 種の中でもっとも高い値を示したドロノキ (*Populus maximowiczii* A. Henry) やダケカンバ (*Betula ermanii* Cham.) (約 18 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) より高い 21 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ を示した⁽³⁴⁾。林内で生育している個体は林外の個体に比べて、最大光合成速度の低下が見られたが、林内の生育光環境である光量子速度 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 付近までは林外より林内で生育している個体の光合成速度が高く、150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ を過ぎると低下した⁽⁷⁾。また、光飽和状態の光合成速度は林外では 7 月に最大となり林内の 2 倍を示したが、6、8、9 月には低く明瞭な季節変化を示した⁽²⁵⁾。

4.6 根系と根萌芽

広葉樹は伐採や傷を被ると、切株や幹から萌芽を発生させることが知られている。これらの地上部からの萌芽のほかに、ハリエンジュは、シウリザクラ (*Prunus ssiori* F. Schmidt)⁽⁶⁶⁾やニワウルシ (*Ailanthus altissima* Swingle)⁽²²⁾のように広く張りめぐらされた水平根からも根萌芽を発生させ増殖する⁽¹⁶⁾。ハリエンジュの根系は、太根も細根も大半が地表近くに分布し、典型的な浅根性樹種であるために⁽²⁾、30 年生ぐらいで根系が腐朽して倒伏しやすくなる⁽³⁰⁾。水平根の伸長速度の最高値は 5.9 m/年、平均は 1.64 m/年で他樹種と比較して大きな値であった⁽¹⁶⁾。また、ハリエンジュの実生は当年生のうちから水平根を展開し始める⁽⁵⁾。特に、伐採など樹木に損傷を受けた場合に大量の根萌芽を発生させることが知

られ²³⁾、多いものでは1個体当たり100本近くの萌芽が発生する⁷¹⁾。

ハリエンジュの根萌芽は土壌中の浅い水平根から発生する傾向があり、土壌深が3 cm 以内では根萌芽の発生率は非常に高いが、土壌深が11 cm 以上ではまったく根萌芽は見られなかった⁷¹⁾。玉泉ほか¹⁶⁾も土壌層の表面10 cm 以内の水平根から根萌芽が発生することを報告している。

酒井⁷⁰⁾は萌芽の生態学的なタイプを、1) 修復と再生、2) 地上部の更新、3) 栄養繁殖の3タイプに分類している。ハリエンジュの根萌芽には、水平根の伸長に伴って先端から発生するものと、損傷を契機に発生するものがある。前者は栄養繁殖、後者は修復と再生に相当する。小泉・小山³⁵⁾は、河川敷に分布するハリエンジュの根系を掘り取り、水平根と根萌芽の年齢を比較した。60%の根萌芽が水平根と根萌芽の年齢が同じで水平根の伸長とともに萌芽が発生させていた。残りの40%は損傷に伴い発生した萌芽で、潜伏芽を由来とするものであった。水平根と根萌芽の年輪差は6年が最高で、水平根が伸長してから6年間までは根萌芽を発生させていた。玉泉ほか¹⁶⁾は、ハリエンジュの根萌芽は、ストレスによって発生する萌芽とは異なり、水平根の伸長にともなって恒常的に発生する萌芽であると報告している。これは、海岸クロマツ林内に分布する林分を調査したため、土壌などの攪乱が少なく損傷による萌芽発生が見られなかったためと考えられる。一方、小泉・小山³⁵⁾が調査した河川敷では攪乱頻度が高いために損傷によって発生した根萌芽の割合が高かったと思われる。

ハリエンジュは水平根を伸長させて根萌芽を発生させていくが、根萌芽の生長のための資源については親木からの供給が考えられる。真坂・山田⁴⁹⁾は、ヨーロッパトウヒ (*Picea abies* Karst.) 林内のハリエンジュの水平根の切断によってその関係を明らかにした。水平根を切断して親木とのつながりを絶った根萌芽では葉の枚数が増加することはなかったが、切断しない根萌芽では次々と葉を展開させた。このことからハリエンジュの根萌芽の生長は資源をほとんど親木に依存しており、光合成によって自分で資源を稼いで生長できないと結論づけている。水平根による個体間の資源のやり取りに関しては、崎尾(未発表)も、水平根の切断試験によって確認している。

ハリエンジュの高い萌芽発生能力は、切断された根系からの萌芽再生からも示される⁵²⁾。水平根は垂直根よりも萌芽率が高く、長さが長いほど萌芽率が高く、15 cm 以上では約50%の萌芽率を示した⁵²⁾。

5. 分布拡大メカニズム

ハリエンジュが日本に導入されておよそ140年が経つが、どのようにして日本全国にこれほどの分布域を拡大したのであろうか^{36, 64)}。

その原因の一つは、多くの河川の上流域で荒廃地緑化の砂防・治山事業で植栽されたことである^{1, 53, 59, 81, 83)}。河川生態系は上流域から海まで水や土砂の移動をとおして繋がっている。

ハリエンジュの莢果の水散布が確認されており^{37, 45)}、洪水の際の土砂に混じった移動も推定されている¹²⁾。その上、遺伝子解析によって上流域の種子が下流域に運ばれたことも確認されている⁴⁴⁾。これらのことから、上流域に植栽されたハリエンジュの種子が下流域まで水散布されて流域に分布拡大したことは間違いあるまい。

もう一つの原因は、ハリエンジュの持つ独特な生活史特性である。種子生産、種子散布、発芽、生長、栄養繁殖と生活史をとおして、分布拡大に適応した戦略をとっている。豊凶はあるものの毎年開花し、種子生産を行う⁸⁸⁾。種子には異型性があり⁷⁶⁾、秋に散布されてすぐに発芽する非休眠種子と、休眠し埋土種子として土壌シードバンクの形成に携わる休眠種子⁷⁷⁾がある。このようにハリエンジュは発芽時期を分散させて、発芽のタイミングを増やしている。その上、洪水が発芽の引き金になっていることから、1年に複数回の発芽の機会を持っている。発芽した実生の生長は、高い光合成速度³⁴⁾のために非常に早く¹³⁾、3-4年で開花結実する。また、発芽当年から水平根を伸ばし⁵⁾、根萌芽を発生させて増殖する¹⁶⁾。

本来、日本の河川には上流域から下流域まで在来種である多くのヤナギ類が分布してきた。その分布は、河川の水位変動と大きくかかわっており、特に北日本では洪水によって形成される水際から緩やかな傾斜を持った砂礫の堆積地が更新サイトとなってきた。一方で、ヤナギ類の種子の寿命は短く⁶⁵⁾、埋土種子を形成しない。その上、発芽時期が春の種子散布後の短い期間に限られている。ヤナギ類の実生の定着は、これらの季節的な洪水と種子散布、発芽の微妙なタイミングのもとで成立している⁶⁵⁾。また、広い流路幅を持った網状河川でたびたび繰り返される洪水による流路変動もヤナギ類が更新する上で重要な地形変動である^{73, 74)}。

しかし、日本の河川環境は、この1世紀の間に大きな変貌を遂げた。1997年に河川法において河川管理の目的へ河川環境の保全が追加される前は、治水と利水が目的として河川管理が行われてきた²⁶⁾。河川を直線化した人工堤防の中に閉じ込めたために、河川幅が狭くなるとともに、水位変動と土砂の動態も大きく変化した。特に、1950年代から1970年代にかけて、治水や水資源開発、発電水力への需要拡大に伴って、上流域で大型の多目的ダムが建設され洪水のコントロールによってピーク流量が低下したとともに、大量の砂利採取によって河床砂礫の移動が減少した^{19, 67)}。そのためにヤナギ類の更新に必要な水位変化や流路変動、河床の微地形変化も少なくなった⁷⁸⁾。洪水流量の減少は、砂州の島状化や高水敷化を進行させ、河道内の樹林化を促進させたとともに⁹²⁾、大洪水がなくなったこともあり、高水敷が破壊されなくなり、河床が固定されている。つまり、河川が常に水が流れる流路と高水敷に二極化されてしまった。このような土砂移動が停止するとともに乾燥化した高水敷に定着したハリエンジュが水平根から発生する根萌芽によって高水敷を優占し、安定化させているかもしれない⁶⁷⁾。一旦形成された高水敷は河川水の影響を受けることが少なく乾燥しているためにヤナギ類が発芽・定着する可能性が低くなる。これらの結果

として、在来種であるヤナギ類に替わりハリエンジュが河川で優占種となっていると考えられる。

以上のように、人為的に上流域に植栽されたハリエンジュの生活史特性が河川管理によって大きく変化した水位変動や土砂の動態に適していたことが、ハリエンジュが日本中の河川流域に分布を拡大した原因と考えられる。

6. ハリエンジュの駆除とその効果

これまでハリエンジュの駆除については、1) 伐採、2) 重機による駆除、3) 除草剤、4) 巻き枯らしによる方法等が検討されてきた。

伐採による駆除はこれまで河川管理において広く行われてきた。上流域の在来樹種が下層木を形成しているハリエンジュ林では伐採によって発生した萌芽が、在来樹種の生長とともに被陰によって枯死していくために伐採は効果的な駆除方法である⁷¹⁾。実験でも相対照度で10%以下の光制限のあるところでは、萌芽の発生や生長の抑制が認められている^{23, 24)}。しかし、ハリエンジュは伐採によって多量の萌芽を発生させるために^{23, 71)}、中下流域の光環境の良いオープンな河畔林では頻繁な刈り取りを必要としている。小山³⁹⁾は5年間で14回の刈り払いを行うことで、ハリエンジュの植被率を80%から1%以下に大きく抑制できたとしている。崎尾・川西⁷²⁾は、2年間で年3回の刈り取りによってハリエンジュの萌芽発生重量を大きく減少できることを報告している。

ハリエンジュの駆除対策として重機による礫河原造成（高水敷の切り下げ）も検討されている。このような場所では新たに発生した洪水によってハリエンジュを含む植生が流されて裸地となるなど一定の効果が見られているが、場所によっては地中深くの根によって再生してきたことが報告されている¹⁹⁾。また、抜根除去の後に重機にスケルトンバケットと呼ばれる網目状のヘッドを取り付けて土壌をすくい取った後に振るい出すことで、残った水平根を取り去る「スケルトンバケット工法」や、水平根や埋土種子を多く含む表層土壌とそれらが少ない深層の土壌を重機で入れ替えることで、萌芽と発芽の抑制を行う「天地返し工法」を組み合わせた工法も検討され、その効果が確かめられている⁷⁵⁾。しかし、重機を用いたこれらの工法を行うためには、かなりの事業費が必要であり、どの河川でも簡単に行うことは困難である。その上、土砂の攪乱によって、休眠しているハリエンジュの種子に傷がつけば、休眠解除による発芽を促進する可能性も考えられる³¹⁾。

除草剤による方法も効果的であるが^{18, 39, 57, 82)}、水辺域での除草剤使用は水質汚染や生態系への配慮からあまり行われていない。

一方で巻き枯らし（環状剥皮）が効果的な方法であることがこれまで指摘されている^{39, 80)}。巻き枯らしによって、水平根から発生する根萌芽を抑制できるとの観察（崎尾：未発表）もある。しかし、巻き枯らしに関しては、事業の一環として試しに行われている程度で、萌芽発生の状態や幹から発生し

た萌芽の取り扱いに関して具体的な手法が検討されていない。

7. おわりに

以上のようにハリエンジュが日本の河川流域で分布を拡大してきた原因には、その生活史特性と河川の動態の変化が大きくかかわってきた。今後、このようなハリエンジュの管理には、上流域から下流域まで一貫した植生管理が必要である。そのためには、現在一つの流域を管理している複数の河川管理者の連携を強める必要がある。流域規模でのハリエンジュの分布状況を把握した上で、その取り扱いを流域の河川管理計画の中に位置づけることが重要である。その上で、季節に対応した水位変動や土砂移動を発生させるとともに高水敷を掘り下げるなど、ハリエンジュが繁茂しないような河川環境の管理が必要であろう。一方で、ハリエンジュの除去に関しては、それを利用している養蜂業者などとの合意形成のもとで、現在行われている施業技術の中からの確かな方法を選択し、流域全体で取り組むことが望まれる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 25252029、公益財団法人河川財団の河川整備基金助成事業、河川学術研究会多摩川研究グループの助成を受けたものです。

引用文献

- 1) 秋山怜子・松下一樹・天田高白（2002）崩壊地における山腹緑化工施工後の植生回復状況，日本緑化学会誌，27（4）：605-609.
- 2) 浅野二郎・安森俊比古・藤井英二郎・井谷和明・今井修・田川一郎（1984）造園樹種の根系の形態に関する研究—スギ、マテバシイ、ニセアカシアについて、千葉大学園芸学部学術報告，34：69-75.
- 3) Boring, L.R. and Monk, C.D. (1981) Early regeneration of a clear-cut southern Appalachian forest, *Ecology*, 62(5): 1244-1253.
- 4) Boring, L.R. and Swank, W.T. (1984) The role of black locust (*Robinia pseudo-acacia*) in forest succession, *Journal of Ecology*, 72: 749-766.
- 5) 千葉翔・小山浩正（2012 a）ニセアカシアの非休眠種子は更新に貢献するのか？、日本森林学会誌，94：261-268.
- 6) 千葉翔・小山浩正（2012 b）水に対する浮力実験によるニセアカシアの莢が種子の散布に与える効果の検討，東北森林科学会誌，17(2)：42-46.
- 7) 崔東寿・渡邊陽子・上里季悠・北岡哲・秋林幸男・笹賀一郎・小池孝良（2007）異なる光環境下に生育するニセアカシア稚樹の光合成特性—北海道大学札幌研究林の事例—，日本森林学会北海道支部論文集，55：44-46.
- 8) Cseresnyes, I. and Csontos, P. (2012) Soil seed bank of the invasive *Robinia pseudoacacia* in planted *pinus nigra* stands, *Acta Botanica Croatica*, 71(2): 249-260.
- 9) de Waal, L.C., Child, L.E., Wade, P.M. and Brock, J.H. (1994) *Ecology and management of invasive riverside plants*. 217 pp. J. Wiley & Sons, Chichester.
- 10) 藤井義晴・石川恵理・浦口晋平・渡辺泉・星野義延（2009）ニセアカシアのアレロパシー，崎尾均編，ニセアカシアの

- 生態学, 文一総合出版, pp. 237-254.
- 11) 藤木大介・山中典和・玉井重信 (2001) 鳥取砂丘における植生タイプと埋土種子集団の関係, 日本緑化工学会誌, 26 (3): 209-222.
 - 12) 福田真由子・崎尾均・丸田恵美子 (2005) 荒川中流域における外来樹木ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.) の初期定着過程, 日本生態学会誌, 55: 387-395.
 - 13) 福田真由子 (2009) 増水による攪乱と外来種ニセアカシアの発芽定着—荒川での研究事例—, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 131-143.
 - 14) 船越眞樹 (1994) ニセアカシア林の朽まざる実験, 松本市史研究, 4: 145-148.
 - 15) 舟山良雄・小坂淳一 (1952) ニセアカシア萌芽林の調査成績 (薪炭林の林相改良樹種としての考察), 林業技術, 124: 14-22.
 - 16) 玉泉幸一郎・飯島康夫・矢幡久 (1991) 海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴, 九州大学演習林報告, 64: 13-28.
 - 17) 本間広之 (1981) ニセアカシアの立木枯殺試験 (Ⅱ) —薬剤処理の適期と施肥方法—, 新潟県林業試験場研究報告, 24: 23-28.
 - 18) 本間広之・清水周治 (1980) ニセアカシアの立木枯殺試験 (Ⅰ) —2, 3の薬剤の枯殺効果—, 新潟県林業試験場研究報告, 23: 35-43.
 - 19) 星野義延 (2009) 多摩川におけるニセアカシア林の構造と防除対策, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 271-285.
 - 20) 星野義延・シレブジャンマイマイティ・吉川正人 (2014) ハリエンジュの開花・結実特性, 河川生態学術研究会多摩川研究グループ編, 多摩川の総合研究, 公益財団法人リバーフロント研究所, pp.第3章 42-46.
 - 21) Hunter, J. (2000) *Robinia pseudoacacia*, Bossard, C.C., Randall, J.M. and Hoshovsky, M.C. (Eds), *Invasive plants of California's Wildlands*, University of California Press, pp. 273-276.
 - 22) Ingo, K. (1995) Clonal growth in *Ailanthus altissima* on a natural site in West Virginia, *Journal of Vegetation Science*, 6: 853-856.
 - 23) 岩井宏寿 (1986) ニセアカシアの萌芽および生長抑制に関する試験, 千葉県林業試験場業務報告, 20: 31-32.
 - 24) 岩井宏寿 (1987) 環境保全の維持管理に関する検討—ニセアカシアの萌芽および生長抑制に関する試験—, 千葉県林業試験場業務報告, 21: 31.
 - 25) 兼俊壮明・小林真・北岡哲・渡辺誠・江口則和・渡邊陽子・斎藤秀之・小池孝良 (2009) 異なる光環境下におけるニセアカシアの光合成と窒素利用特性の季節変化, 日本森林学会北海道支部論文集, 57: 29-31.
 - 26) 河川法令研究会 (編) (2012) よくわかる河川法, ぎょうせい, 351 pp.
 - 27) 勝田柁・横山敏孝 (1998) ハリエンジュ属 *Robinia* Linn. (Locust), 日本の樹木種子・広葉樹編, 林木育種協会, pp. 207-210.
 - 28) 唐木貴行・近藤哲也・渡邊陽子・門松昌彦・秋林幸男・笹賀一郎・斎藤秀之・渋谷正人・小池孝良 (2008) 外来種ニセアカシア種子の発芽特性と種皮の不透水性, 日本森林学会北海道支部論文集, 56: 21-23.
 - 29) 唐木貴行・近藤哲也・渡邊陽子・小池孝良 (2010) ニセアカシア種子の吸水部位からみた発芽条件の検討, 日本森林学会北海道支部論文集, 58: 37-38.
 - 30) 菊住昇 (1987) 新装版樹木根系図説, 誠文堂新光社, 1122 pp.
 - 31) 川西基博・崎尾均・村上愛果・米林伸 (2010) 河川敷における洪水と草地への火入れがハリエンジュ *Robinia pseudoacacia* L. の種子発芽に及ぼす影響, 保全生態学研究, 15: 231-240.
 - 32) 環境省 (2014年5月29日参照) <http://www.env.go.jp/nature/intro/1outline/caution/index.html>
 - 33) Keresztesi, B. (1988) *The black locust*, Akademiai kiado, Budapest. 197 pp.
 - 34) 小池孝良 (2009) ニセアカシアの光合成能力, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 161-174.
 - 35) 小泉幸代・小山浩正 (2012) 河川域におけるニセアカシアの水平根からの根萌芽発生様式, 東北森林学会誌, 17: 31-35.
 - 36) 国立環境研究所 (2014年5月29日参照) 侵入生物データベース, <http://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/>
 - 37) 河内香織 (2009) ニセアカシアの侵入が溪流生態系に与える影響—腐食連鎖の視点から, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 201-218.
 - 38) 小山浩正・高橋文 (2009) 河川敷におけるニセアカシアの分布拡大に果たす種子の役割, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 99-112.
 - 39) 小山泰弘 (2009a) ニセアカシアの除去, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 297-309.
 - 40) 小山泰弘 (2009b) 樹木講座7: 山地における樹木植栽緑化の問題点, 樹木医学研究, 13(3) 166-172.
 - 41) 久保田泰則 (1979) 広葉樹の実生による繁殖, 光珠内季報, 40: 16-26.
 - 42) Lee, C.S., Cho, H.J. and Yi, H. (2004) Stand dynamics of introduced black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantation under different disturbance regimes in Korea, *Forest Ecology and Management*, 189: 281-293.
 - 43) 練春蘭・宝月岱造 (2007) ハリエンジュの遺伝的構造—多摩川河川敷の場合—, 森林技術, 781: 13-15.
 - 44) 練春蘭・木村恵・崎尾均・宝月岱造 (2009) マイクロサテライトマーカーが明かすニセアカシアの繁殖特性, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 185-199.
 - 45) 前河正昭・中越信和 (1996) 長野県牛伏川の砂防植栽区とその周辺における植生動態, 日本林学会論文集, 107: 441-444.
 - 46) Maekawa, M. and Nakagoshi, N. (1997) Riparian landscape changes over a period of 46 years, on the Azusa River in Central Japan, *Landscape and Urban Planning*, 37: 37-43.
 - 47) 前河正昭・中越信和 (1997) 海岸砂地においてニセアカシア林の分布拡大がもたらす成帯構造と種多様性への影響, 日本生態学会誌, 47: 131-143.
 - 48) 真坂一彦 (2013) 外来種ニセアカシアを取りまく言説とその科学的根拠, 日本森林学会誌, 95: 332-341.
 - 49) 真坂一彦・山田健四 (2005) ニセアカシアの根萌芽は、どれくらい親木に依存しているのか?, 日本森林学会北海道支部論文集, 53: 21-23.
 - 50) Masaka, K. and Yamada, K. (2009) Variation in germination character of *Robinia pseudoacacia* L. (Leguminosae) seeds at individual tree level, *Journal of Forest Research*, 14: 167-177.
 - 51) 真坂一彦・山田健四・小野寺賢介・脇田陽一 (2010) ニセアカシア天然林の成立における実生更新とクローン成長の貢献—北海道美唄市の不成績造林地での事例—, 北海道林

- 業試験場研究報告, 47: 45-50.
- 52) 松並志郎・小林真・里村多香美・渡邊陽子・菅田定雄・市川一・北條元・山ノ内誠・門松昌彦・秋林幸男・笹賀一郎・小池孝良 (2008) ニセアカシアの侵入初期過程における根系動態—切断根の萌芽再生能力の検討—, 日本森林学会北海道支部論文集, 56: 13-15.
 - 53) 峰崎清・斉藤康 (1992) 足尾町において治山工事により成林したニセアカシア林の現況, 第31回治山研究発表会論文集, 329-333.
 - 54) Miyawaki, S. and Washitani, I. (2004) Invasive alien plant species in riparian areas of Japan: The contribution of agricultural weeds, revegetation species and aquacultural species, *Global Environmental Research*, 8(1): 89-101.
 - 55) Morimoto, J., Kominami, R. and Koike, T. (2010) Distribution and characteristics of the soil seed bank of the black locust (*Robinia pseudoacacia*) in a headwater basin in northern Japan, *Landscape and Ecological Engineering*, 6: 193-199.
 - 56) 村山三郎・空西麻里・小阪進一 (1997) 温度条件が緑化植物種子の発芽に及ぼす影響, 農業および園芸, 72(11): 1217-1220.
 - 57) 村山保裕 (2002) 海岸防災林地での除草剤を用いたニセアカシア枯殺試験—幼木への散布処理と成木への注入処理の実施時期の検討—, 静岡県林業技術センター研究報告, 30: 29-32.
 - 58) 長野県植物誌資料集編纂委員会 (2005) 長野県植物誌資料集 CD-ROM.
 - 59) 中越信和・前河正昭 (1996) 75年を経過した砂防植栽地におけるニセアカシア林の動態, 森林航測, 179: 10-13.
 - 60) 中村太士 (1999) ダム構造物が水辺林の更新動態に与える影響, 応用生態工学, 2: 125-139.
 - 61) 中村純 (2009) 蜜源としてのニセアカシア, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 43-67.
 - 62) 猶原恭爾 (1945) 荒川河原植物群落の生態学的研究ならびに其の治水植栽と高水敷牧草化, 資源科学彙報, 8: 1-155.
 - 63) 日本生態学会 (編) (2002) 外来種ハンドブック, 地人書館, 391 pp.
 - 64) 日本野生生物研究センター (1992) 緊急に保護を要する動植物の種の選定のための植物都道府県別分布表.
 - 65) Niiyama, K. (1990) The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flooded habitat, *Ecological Research* 5: 317-331.
 - 66) 小川みふゆ・福嶋司 (1996) 奥日光のオオシラビソ林におけるシウリザクラの根萌芽および実生の動態, 日本林学会誌, 78: 195-200.
 - 67) 太田猛彦 (2012) 森林飽和, NHK 出版, 254 pp.
 - 68) 小野寺賢介・長坂晶子・長坂有・山田健四 (2007) 河畔域におけるニセアカシアの分布実態, 光珠内季報, 146: 5-8.
 - 69) Sadhu, R.N. and Kaul, V. (1989) Seed dormancy in *Robinia pseudo-acacia*, *Indian Forester*, 115: 483-487.
 - 70) 酒井暁子 (1997) 高木性樹木における萌芽の生態学的意味—生活史戦略としての萌芽特性—, 種生物学研究, 21: 1-12.
 - 71) 崎尾均 (2003) 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(4): 355-358.
 - 72) 崎尾均・川西基博 (2009) ニセアカシアの萌芽力, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 175-183.
 - 73) 進望・石川慎吾・岩田修二 (1999) 上高地・梓川における河畔林のモザイク構造とその形成過程, 日本生態学会誌, 49: 71-81.
 - 74) Shin, N. and Nakamura, F. (2005) Effects of fluvial geomorphology on riparian tree species in Rekifune River, northern Japan, *Plant Ecology*, 178: 15-28.
 - 75) 田熊亮介・小山浩正 (2013) 河川敷におけるニセアカシア駆除の工法別の有効性, 森林立地, 55(1): 37-42.
 - 76) 高橋文・小山浩正・高橋教夫 (2005) ニセアカシア種子の発芽・休眠特性—Cryptic heteromorphism 横の検討とその意義—, 第116回日本森林学会大会発表データベース, 116: 552 (PA 093).
 - 77) 高橋文・小山浩正・高橋教夫 (2006) ニセアカシアの分布拡大と種子の役割—種子異型性とその意義—, 第117回日本森林学会大会発表データベース, 117: 376 (D 10).
 - 78) 高橋文・小山浩正・高橋教夫 (2008) 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, 日本森林学会誌, 90(1): 1-5.
 - 79) 高橋裕 (2008) 新版河川工学, 東京大学出版会, 319 pp.
 - 80) 田村浩喜・金子智紀 (2003) 巻枯らしによるハリエンジュ水源林の林種転換—10年経過後の林分評価—, 第114回日本林学会大会講演要旨 (日本林学会大会発表データベース), P 2175.
 - 81) 田村浩喜・金子智紀・蒔田明史 (2007) 小坂鉦山煙害地に造成された50年生ニセアカシア林の生育実態, 日本緑化工学会誌, 32: 432-439.
 - 82) 田村輝夫 (1979) 除草剤によるニセアカシアの防除方法について, 鳥取県林業試験場試験研究報告, 22: 19-25.
 - 83) 谷本丈夫・金子範子 (2004) 栃木県足尾町民有林内に造成されたニセアカシア林の現状と今後の施策方針の検討, 日本緑化工学会誌, 30(1): 151-156.
 - 84) 白井英治 (1993) アカシア—花降る木陰 (植物文化史 157), 遺伝, 47(5): 58.
 - 85) von Holle, B., Joseph, K.A., Largay, E.F. and Lohnes, R.G. (2006) Facilitations between the introduced nitrogen-fixing tree, *Robinia pseudoacacia*, and nonnative plant species in the glacial outwash upland ecosystem of Cape Cod, MA, *Biodiversity and Conservation*, 15: 2197-2215.
 - 86) 和田依子 (2007) 養蜂とニセアカシア, 森林技術, 781: 22-25.
 - 87) 西熱甫江買買提・星野延義・吉川正人 (2013) 多摩川におけるハリエンジュの結実と訪花昆虫, 日本緑化工学会誌, 39: 109-114.
 - 88) 八神徳彦・千木容 (2002) 衰退ニセアカシア林の萌芽更新, 石川県林業試験場研究報告, 33: 1-2.
 - 89) 八神徳彦 (2007) 海岸ニセアカシア林の衰退と伐採強度による萌芽更新への影響, 石川県林業試験場研究報告, 39: 49-52.
 - 90) 八神徳彦 (2009) ニセアカシア海岸林の推移, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 311-325.
 - 91) 山田健四・真坂一彦 (2007) 北海道の旧産炭地における侵略的外来種ニセアカシアの分布現況とその歴史的背景, 保全生態学研究, 12: 94-102.
 - 92) 山本晃一 (2010) 沖積河川—構造と動態—, 技報堂出版, 587 pp.
 - 93) 柳沢聰雄 (1985) ニセアカシア, 有用広葉樹の知識・育て方と使い方, 林業科学技術振興所, pp. 275-277.

(2014. 12. 19 受理)