

毎木調査と多時期植生図GISデータによる 侵略的外来種ハリエンジュの植生変遷解析

VEGETATION CHANGE ANALYSIS OF INVASIVE ALIEN SPECIES,
Robinia pseudoacacia, USING TREE CENSUS DATA
AND MULTITEMPORAL VEGETATION MAPS

高橋俊守¹・皆川朋子²

Toshimori TAKAHASHI and Tomoko MINAGAWA

¹正会員 工博 宇都宮大学助教授 農学部農業環境工学科
(〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350)

²正会員 工博 土木研究所 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

In recent years, invasive alien tree species, *Robinia pseudoacacia*, has increased its range and grows thickly in Japanese river channels. The riverine tree can lead to problems with flood control and biodiversity conservation. This study was conducted to clarify the expansion process of invasive alien species, *Robinia pseudoacacia*, in relation to spatial and temporal vegetation change. The tree census data and multi-temporal actual vegetation maps in the period between 1977 and 2000 were integrated into a geographic information system (GIS) to analyze pattern and process of vegetation change at the growing site of *Robinia pseudoacacia*. The trend surface of tree age was observed in parallel to the channel. The pattern of vegetation change at the growing site was observed at 1025 types. The invasion occurred intensively inside and around the community of *Robinia pseudoacacia*. The dominant invaded vegetation types were observed.

Key Words : *Invasive alien species, Robinia pseudoacacia, vegetation GIS, tree census trend surface analysis, vegetation change*

1. はじめに

多摩川におけるハリエンジュ(*Robinia Pseudoacacia*)は、1923年(大正12年)の関東大震災における崩壊地の治山事業として、1935年(昭和10年)から1942年(昭和17年)に上流の丹波山村塩の山に植林され、復旧に大きく貢献したとされる¹⁾。しかし、現在も下流へと分布域を拡大し²⁾、本来の河川環境を変質させる一要因となっている。河道内に拡大した樹木は、洪水時の疎通能力の低下を引き起こすため、治水安全度を低下させる恐れがある。さらにハリエンジュは、拡散した場合に生物多様性を脅かす侵略的外来種として知られており³⁾、生態系保全の観点からもその取り扱いが課題となっている。

河川生態学術研究会多摩川研究グループでは、研究対象域とする礫床河川区間である「永田地区」におけるハリエンジュの分布・拡大に着目し、これまでに、立地環境の形成とその要因及び、生物・生態系への影響等に関

連して、以下を明らかにしている。永田地区の河道は、1974年までは扇状地河川特有の滞筋が複数できる単断面河道であったが、1974年の洪水によって、右岸側に土砂が平均2m堆積し、その後、左岸寄りに低水路が固定し、流路の河床が低下したことにより現在のような複断面河道に変化した⁴⁾。その結果、それまで見られた扇状地河川特有の河原が減少し、高水敷化した部分には、ハリエンジュ等の樹木が急激に増加した^{5),6)}。単断面河道から複断面河道へ変化した要因は、上流からの土砂供給量の減少による河道形状の変化等であると推定されている⁷⁾。このような河道の変化に伴う河原の減少は、河原に依存し生育・生息している生物に影響を及ぼしている。特にカワラノギク(*Aster kantoensis*)は近年急激に個体数が減少し⁸⁾、多摩川においては既に絶滅の渦にあることが指摘されている⁹⁾。また、ハリエンジュの分布、生育環境、種子分布等の植物動態¹⁰⁾についても研究が行われた。近年では、ハリエンジュの空間分布やバイオマスをリモートセンシングの手法を用いて推定する研究も行われ

ている^{11), 12)}。さらに、多時期の現存植生図を用いて、植生や環境タイプの変遷パターンを類型化することによって河川環境を評価する試みも行なわれている^{13), 14)}。しかし、植物群落の変遷過程や、これとハリエンジュの侵入・分布拡大の空間的關係については知見が少ない。

そこで本研究では、空間的かつ経時的な群落の変遷過程に着目しながら、多摩川永田地区におけるハリエンジュ群落の分布拡大の傾向を明らかにすることを目的にした。このため、2000年に実施したハリエンジュの毎木調査と、1977年から2001年までの6時期分の現存植生図を入力したGISデータセットを作成した。GISデータセットを解析することを通じて、ハリエンジュの侵入・分布拡大と植物群落の変遷との空間的關係について考察した。

2. 研究対象域の概要

研究対象域は、多摩川の河口から51.8km～53.3km付近に位置する永田橋から羽村大橋までの約1.6km区間における右岸の高水敷である。この区間は兩岸の河岸段丘から掘り込み河道の形状を呈する。右岸側は草花丘陵の段丘崖に面している。研究対象域の河川敷はほぼ平坦で、標高はおおよそ110～120mである。

研究対象域は、かつては中流域特有の砂礫河原が支配的であったが、近年砂礫河原は減少し、水際部等に限定されている。礫河原を特有の生育場所とする植物群落の一部に残存しているものの、今日では高水敷の大半は高さ10m以上のハリエンジュ群落を始めとする多様な植物群落による安定した植生被覆域となっている。

既存資料によると、植物相調査によって、77科355種の植物種の生育が確認されている¹⁰⁾。また、多摩川永田地区現存植生図¹⁵⁾によると、29種の植生タイプが記録されており、この内ハリエンジュ群落の占める面積は最も大きい¹⁴⁾。

3. 研究の方法

(1) 現存植生図GISデータの作成

研究対象域において1977年以降に縮尺2,500分の1で作成された現存植生図を対象として、GISデータセットを作成した¹³⁾。これらの内訳は、1977年の調査成果を取りまとめた多摩川河川敷現存植生図¹⁶⁾を始めとして、1983年調査の多摩川河川敷現存植生図¹⁷⁾、1994年調査の多摩川河川敷現存植生図¹⁸⁾、1998年調査の多摩川永田橋地区現存植生図¹⁹⁾、2000年秋季に調査された多摩川永田地区現存植生図²⁰⁾、2001年春季に調査された多摩川永田地区現存植生図¹⁵⁾の6時期分の現存植生図である。

(2) ハリエンジュ毎木調査

2000年2月15日～4月7日に、永田地区右岸に生育しているハリエンジュの毎木調査を行った²¹⁾。胸高直径(DBH: 根元から高さ約120cmの直径) 5cm以上または幹周り15cm以上の個体を調査対象とした。DBHを測定するとともに、既設の4級基準点と距離標を与点として測量を実施し、生育位置の座標値を得た。なお、調査対象とするハリエンジュは、明らかに萌芽と判断できる個体を除き、地上部の幹を1個体とした。

各個体の樹齢の推定は、浅野⁵⁾が本地域のハリエンジュの胸高直径と生長錘による年輪測定(n=199)から得た以下の回帰式を用いて算出した²¹⁾。

$$F(x) = 0.34x + 4.60 \quad (R^2 = 0.51) \quad (1)$$

ただし、 $F(x)$ は推定樹齢、 x はDBH (cm)を示す。

さらに、ハリエンジュ樹齢の空間的傾向を分析するため、ハリエンジュの位置情報を用いた多項式によって傾向面をモデル化し、最小二乗法を用いてフィッティングすることによって、傾向面解析(Trend Surface Analysis)を実施した。この際に、ハリエンジュの位置情報(x_i, y_i)に対して、次式で示す二次の傾向面モデルを与えた。

$$\mu_i = \beta_{10}x_i + \beta_{20}x_i^2 + \beta_{11}x_iy_i + \beta_{01}y_i + \beta_{02}y_i^2 \quad (2)$$

解析には、フリーの統計解析ソフトRのパッケージVR: Bundle of MASS, class, nnet, spatial²²⁾を用いた。

(3) 多時期植生図とハリエンジュ毎木調査データの解析

ハリエンジュの毎木データと、毎木調査以前に作成された、1977年、1983年、1994年、1998年及び2000年の5時期分の現存植生図を、GISを用いてオーバーレイした。これによって、ハリエンジュの侵入場所における植物群落の変遷を読み取るとともに、植生変遷のパターンを類型化した。

4. 結果

(1) 現存植生図におけるハリエンジュ群落

多摩川永田地区のハリエンジュ群落は、1977年に調査が行われた現存植生図においてすでに約0.1ha認められ、その後の2000年秋季の現存植生図においては約8.5haとなり、研究対象域の1/5以上を占める程、分布域を拡大した。1977年以降作成されてきた多時期の現存植生図において、ハリエンジュ群落の面積は連続して増加する傾向が顕著である。ただし、2000年に実施された礫河原の再生事業に伴って、一部のハリエンジュ群落の伐採が行われたため、最も新しい2001年春の現存植生図においては、面積がやや減少している。図-1に現存植生図に示されたハリエンジュ群落の面積変遷を示した。

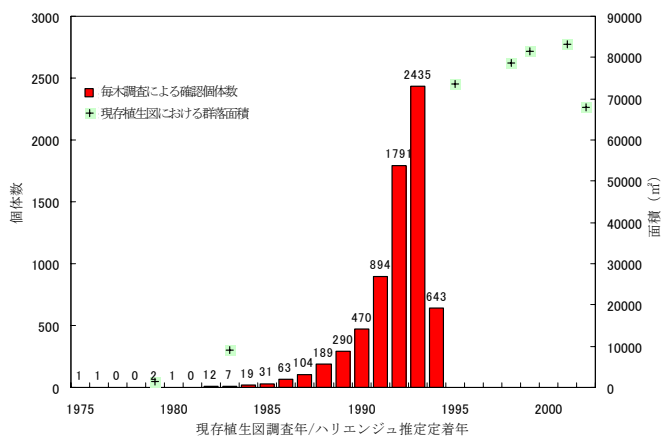


図-1 6 時期分の現存植生図におけるハリエンジュ群落の面積推移及びハリエンジュの推定定着年と個体数²¹⁾。

(2) 毎木調査結果

毎木調査の結果、永田地区右岸において、DBHが5cm以上のハリエンジュは、単木状個体数5,875本、萌芽状個体数1,078本、合計6,953個体確認され、立木密度の平均値は167.9本/haであった。樹齢については、2000年の調査時において、概ね6～25年であることが明らかになった²¹⁾。図-1に樹齢から求めたハリエンジュの推定定着年と個体数のヒストグラムを示した。さらに、図-3にハリエンジュの分布位置と推定樹齢を示した。

傾向面解析の結果、ハリエンジュの樹齢には空間的傾度が存在することが明らかになった（図-2）。水域から陸域にかけて樹齢が増加するが認められた。樹齢の空間的スケールは、調査対象域の上流部では水路から内陸側に向かっておよそ160m、下流部ではおよそ80m進むと樹齢が1年増加していた。

(3) ハリエンジュ定着場所における植生変遷

2000年の毎木調査で確認された樹齢が6年から25年までの総計6,953本のハリエンジュの毎木位置と、1977年、1983年、1994年、1998年及び2000年秋季に調査された5時期分の現存植生図をオーバーレイし、ハリエンジュの定着場所における植物群落の変遷を読み取り、そのパターンを類型化した。

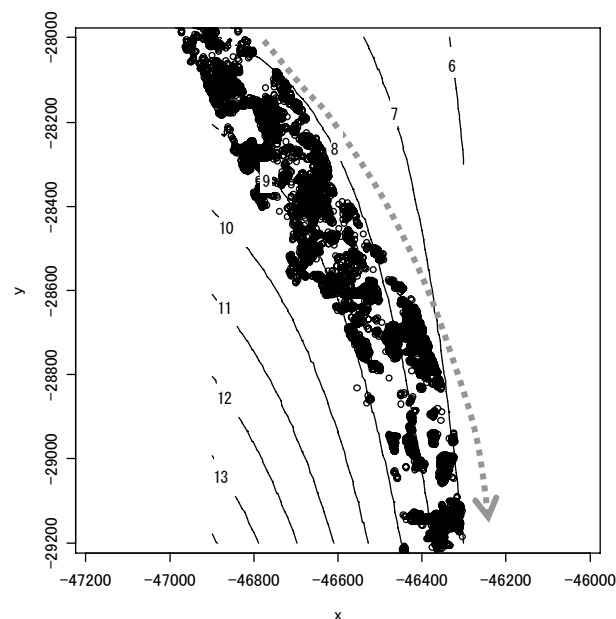


図-2 傾向面解析によるハリエンジュ樹齢の空間的傾度。x, y軸の値は座標（メートル）を表し、図中の○は樹木位置、等値線の数値は樹齢を示す。滞筋と流下方向を矢印で示した。

この結果、ハリエンジュの定着位置における植生変遷パターンは、1,025通り存在することが明らかになった。ただしその内訳は、上位22通りでハリエンジュ全本数の30%に達し、上位75通りでは過半数に達しており、ハリエンジュの定着位置における植生変遷には主要なパターンが存在していた。

これらの植生変遷のパターンを本稿にてすべて挙げることはできないため、それぞれに100本以上が属する主要な上位7通りのパターンについて、表-1にまとめた。なお、現存植生図に示されたハリエンジュ群落の変遷に関しては、高橋ら¹⁴⁾が報告している。

5. 考察

(1) ハリエンジュの分布拡大要因

毎木調査によって確認された最も古い個体の樹齢から、対象地においてハリエンジュは少なくとも1975年頃には定着していたことが明らかにされた。ただし、ハリエン

表-1 ハリエンジュ定着場所における主要な植生変遷パターン

ハリエンジュ毎木調査		現存植生図凡例				
本数	樹齢平均	1977年植生	1983年植生	1994年植生	1998年植生	2000年植生
236	8.4	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	トダシバ群落、ススキ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
198	8.3	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	ツルヨシ群集	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
173	7.5	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	イヌコリヤナギ群集など	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
144	8.0	ツルヨシ群集	ツルヨシ群集	オギ群集	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
129	7.5	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	ツルヨシ群集	オギ群集	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
125	8.3	トダシバ群落、ススキ群落	ツルヨシ群集	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落
112	8.0	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	マルバヤハズソウ-カワラノギク群集	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落	ハリエンジュ群落

ハリエンジュの本数が多い上位7通りの組み合わせ。マルバヤハズソウ-カワラノギク群集（1977年植生図）に侵入して定着したハリエンジュの個体数は特に多く、その個体数は全体で1,983を数え、ハリエンジュ総個体数の約29%に相当していた。

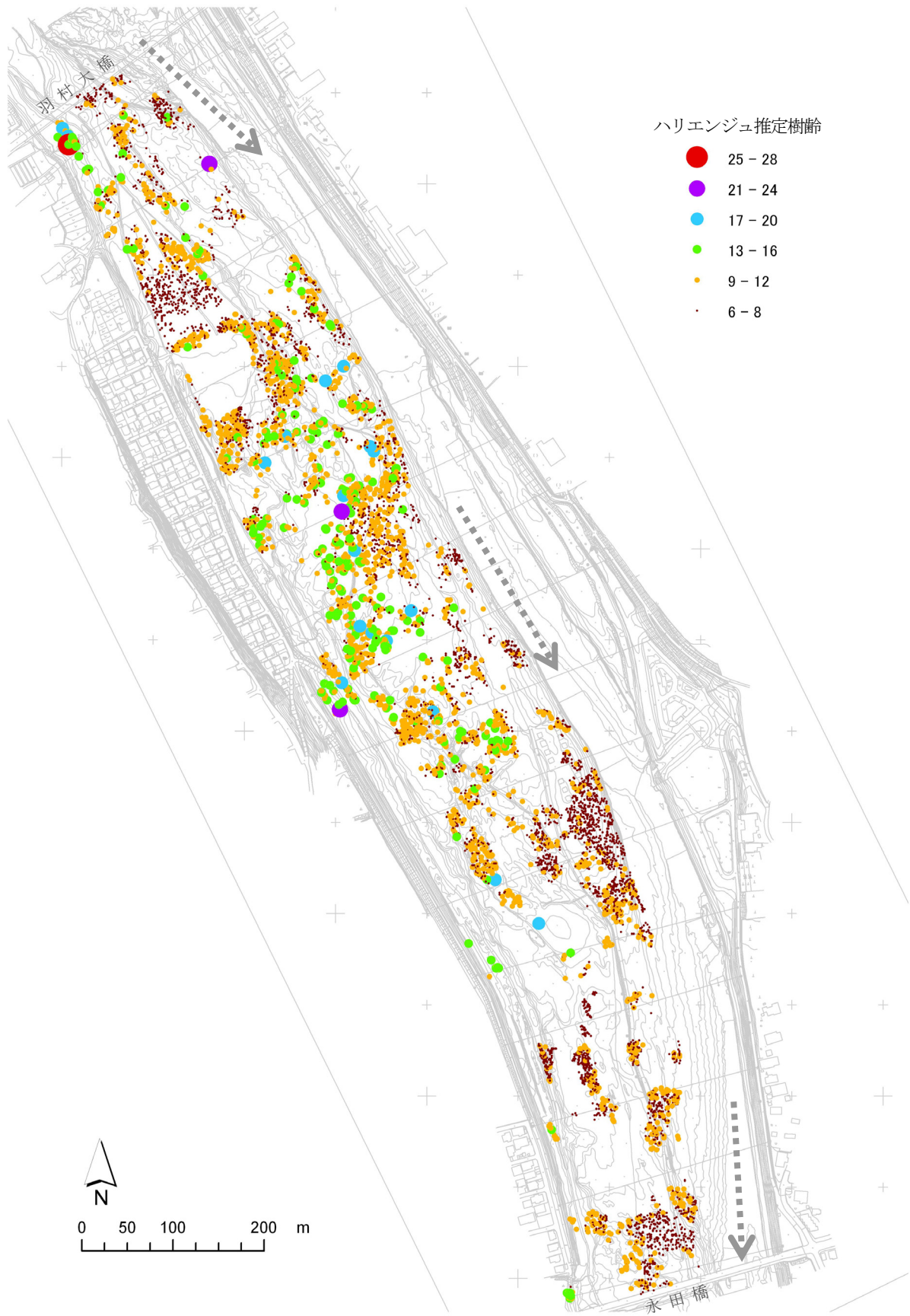


図-3 毎木調査によるハリエンジュ生育位置図と推定樹齢²¹⁾
 (矢印は滞筋における流下方向を示す。調査対象地は永田橋から羽村大橋までの高水敷右岸である。)

ジュは一般に老齢化すると折れやすく、また、30年生程度になると根茎が腐食し、倒伏しやすくなる性質が知られている。このため、すでに1975年以前に定着していたが、調査時には枯死していた個体が存在する可能性が否定できず、ハリエンジュが最初に侵入した場所や時期を特定することは難しい。

樹齢別に個体数の推移を見ると、最も古い1975年から1981年までは合わせて5個体で、これに続く1982年までは12個体に過ぎず、それぞれの位置関係も比較的離れている。例えば、樹齢21年（1979年侵入）の2個体と樹齢20年（1980年侵入）の1個体は、最も古い樹齢25年（1975年侵入）の1個体と樹齢24年（1976年侵入）の1個体からそれぞれ100m以上離れていた。一方で、1982年より以降は、1993年の2,435個体を最大として、急速に個体数が増えるとともに分布域が拡大し、個体間の距離もより短くなっていた。例えば、樹齢17～20年の個体は52.4～52.9km付近に多く分布し、これを中心に樹齢13～16年及び樹齢9～12年の個体の分布域がある。また、樹齢6～8年の個体は51.7～51.8km, 52.1～52.3km, 53.0km地点にまとまって高密度で分布しており、これらは確認されたハリエンジュ総個体数の約70%を占めていた。

ハリエンジュの主要な分布拡大の要因として、根萌芽、種子散布、流水による種子の運搬、流水によって運搬された植物体からの栄養繁殖が知られている。このうち、根萌芽は水平根による栄養繁殖である。また種子散布はほとんどが林内または林縁で生じる¹⁰⁾ことが知られている。このため、根萌芽や種子散布による分布拡大は、流水による種子あるいは植物体の運搬と比較して、すでに侵入定着した個体から比較的近い距離で生じるものと考えられる。ここで2000年より以前の対象地が冠水する規模の出水については、1974年9月、1981年8月、1982年8月、1983年8月に生じたことが予測されている²³⁾。こうしたことから、樹齢18年（1982年侵入）程度より古いハリエンジュ個体は、出水による植物体あるいは種子の漂着によって侵入定着したのに対して、それ以降の若い個体は根萌芽や種子散布によって個体数を増やし、分布域を拡大したものと理解できる。

次に、1982年以降の分布拡大の要因について考察する。これまで、李ほか⁴⁾は、樹林化の最も重要な要因として表層細粒土層の堆積をあげている。この研究によれば、52.4km付近の高水敷の右岸寄り部分の細粒土砂の堆積は、1981年、1982年の出水によって礫が1m程度堆積し、その後1983年に生じた出水によってもたらされた。また、星野¹⁰⁾も永田地区のハリエンジュの分布拡大には、根萌芽を発生させる水平根の有無が重要であり、表層細粒土層が5cmより深く堆積していることがその伸長を可能にするとしている。本調査結果からも1982年以降にハリエンジュの拡大が進行したことが示され、土砂が堆積し、低水路と高水敷との比高が生じ高水敷化した時期と一致しており、これを支持する結果であった。

以上の知見に加えて、傾向面解析によって、ハリエンジュの樹齢は流水から内陸に向かって増加する空間的傾度があることが示された。実際には、ハリエンジュの樹齢の分布は、多様なスケールの空間的傾度を複合的に内包していることが予想される。傾向面解析によって示された空間的傾度は、解析に用いたデータの全範囲を含む相対的に大きなスケールで認められる空間的パターンである。解析の結果得られた樹齢の等値線は、滞筋とほぼ平行に出現していることから、このようなスケールで把握される空間的傾度が生じる主要な要因として、出水による攪乱や地下水位が考えられる。樹齢の空間的傾度の等値線間隔が、上流部で160m、下流部で80m程度であったことは、分布拡大の抑制作用が下流部に対して上流部でより強く働いていることを示唆している。このように、対象地全体を包括するスケールで認められる作用の下で、ハリエンジュの繁殖形態、河床の微地形、土壌特性等と関連したさらに詳細なスケールでの作用が働いているものと考えられる。

(2) ハリエンジュの分布拡大と植物群落

次に、2000年に実施されたハリエンジュ毎木調査と、同年に作成された現存植生図をオーバーレイし、ハリエンジュの定着と植物群落の対応関係について考察した。

現存植生図に示されたハリエンジュ群落の分布域に含まれる、毎木調査によるハリエンジュの個体数は約77%で、群落を形成して定着している個体が大半であった。これらのハリエンジュ群落は、いずれも他の植物群落から変遷したものである。そこで、ハリエンジュ群落に変遷する直前の植生タイプに着目し、その内訳を見ると、最も多いのはツルヨシ群集（1,418個体）、トダシバ群落・ススキ群落（1,290個体）であり、合わせて約51.2%を占めていた。これらに次いで、イヌコリヤナギ群集など、オギ群集、ヨシ群落、マルバヤハズソウ・カラノギク群集、造成裸地（コスズメガヤ群落を含む）、オオバコオーダー、自然裸地からも変遷しており、以上で群落を形成したハリエンジュ個体数の90%を超えていた。ここで示された植生タイプあるいは環境タイプは、ハリエンジュが侵入定着しやすい植物群落あるいは環境タイプを表していると考えられる。

一方で、現存植生図においてハリエンジュ群落として示された地域以外にも、毎木調査によるハリエンジュが個体数で約33%現存することが明らかになった。これらのハリエンジュ個体は、群落を形成していく途中段階にあるか、あるいは小規模な樹群や孤立木として生育している個体である。現存植生図にハリエンジュ群落として分布域が示されていないのは、種組成を基にした現存植生図の作成手法や図面の精度による。これらの植物群落とハリエンジュ個体数の内訳は、ススキ群落が458個体と最も多く、次いで、ツルヨシ群集の245個体、クズ群落の229個体、イヌコリヤナギ群集の128個体、オギ群集

の124個体, ヨシ群落の122個体であった。いずれの群落においても, 樹齢が6年から9年のハリエンジュが大半を占めていた。

6. 結論

多摩川中流域の河川高水敷を対象として, ハリエンジュの毎木調査を実施した結果, DBH5cm以上の6953個体が記録された。これらの個体の樹齢は, 2000年の調査時において, 6~25年であると推定された。傾向面解析の結果, ハリエンジュの樹齢には空間的傾度があり, 上流部では約80m, 下流部では約160mの間隔で流路と平行方向に樹齢1年の等値線が認められた。樹齢と個体間の距離等から, 1980年代以前は流水による種子や植物体の運搬によって侵入定着し, それ以降は根萌芽や種子散布によって分布を拡大したものと推察された。さらに, 2000年の調査で取得されたハリエンジュの毎木データと, 1977年, 1983年, 1994年, 1998年及び2000年に調査された5時期分の現存植生図を統合したGISデータセットを作成した。ハリエンジュの定着場所における植物群落の変遷パターンを類型化した結果, 定着したハリエンジュの生育位置の植生変遷パターンは, ハリエンジュの全個体数の30%が22通り, 50%が75通り, 70%が188通り, 全体では1,025通りの植生変遷パターンに類型化されることが明らかになった。1977年にマルバヤハズソウ・カワラノギク群集であった立地に侵入・定着したハリエンジュが特に多く, 個体数全体の約29%を占めていた。この他, ツルヨシ群集, ススキ群落, オギ群集, イヌコリヤナギ群集などでも侵入が生じやすいことが示された。侵入後のハリエンジュの大半は群落を形成するが, 現存植生図との対比によると, 約33%の個体がハリエンジュ群落以外の植物群落において, 孤立木や小規模樹群として生育していることが明らかになった。

謝辞: 本研究は, 河川生態学術研究会多摩川研究グループの調査研究の一環として実施された。この場を借りて, 関係各位に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所 多摩川誌編集委員会: 多摩川誌, 山海堂, 1986.
- 2) 丹野幸太: 多摩川中流域における砂礫堆固定化と植生分布の変化, 東京農工大学修士論文, 1997.
- 3) 日本生態学会編: 外来種ハンドブック, 地人書館, 390pp, 2002.
- 4) 李参熙・藤田光一・塚原隆夫・渡辺俊・山本晃一・望月達也: 礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割, 水工学論文集第42巻, pp.433-438, 1998.
- 5) 浅野文: 河川敷の森林化と河川の安定に関する研究—多摩川中流における河川敷の森林化—, 建設省土木研究所環境部部外研究員研究発表会論文集, pp.11.1-11.6, 1996.
- 6) 李参熙・山本晃一・島谷幸宏・萱場祐一: 多摩川扇状地河道部の河道内植生分布の変化とその変化要因との関連性, 環境システム研究論文集, Vol.24, pp.26-33, 1996.
- 7) 建設省土木研究所河川部河川研究室: 水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査, 平成11年度土木研究所報告, 2000.
- 8) 倉本宣: 多摩川におけるカワラノギクの保全生態学的研究, 緑地学研究15, 東京大学緑地学研究室, 1995.
- 9) 倉本宣: 多摩川におけるカワラノギクの種子による移植, 環境システム研究, 25: 19-24, 1997.
- 10) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ: 多摩川の総合研究—永田地区を中心として—, (財) リバーフロント整備センター, 818pp. 2000.
- 11) 高橋俊守・星野義延・安岡善文: 航空機ハイパースペクトルデータと植生GISデータを用いた河道内樹林の分布域推定—侵略的外来種ハリエンジュ群落を対象とした事例研究—, 土木学会河川技術論文集, 10, pp.309-314, 2004.
- 12) 高橋俊守・皆川朋子・安岡善文: 航空機ハイパースペクトルリモートセンシングによるハリエンジュ群落の分光反射スペクトルと生物物理パラメータの関係, 第13回東京大学生産技術研究所フォーラム講演論文集, pp.96-101, 2004.
- 13) 高橋俊守・島瀬頼子・皆川朋子・星野義延: 多時期植生図の解析による河道内植生の変遷に関する考察, ランドスケープ研究, 68(5), 647-650, 2005.
- 14) 高橋俊守・皆川朋子・島瀬頼子・加藤和弘: 多時期の植生図を用いた河道内における侵略的外来種ハリエンジュ群落の変遷に関する研究, 環境情報科学論文集, 19, 365-370, 2005.
- 15) 長岡聡子・島瀬頼子: 多摩川永田地区現存植生図(2001年春季), 河川生態学術研究会多摩川研究グループ, 2002.
- 16) 奥田重俊・曾根伸典・藤間照子・富士堯: 多摩川河川敷現存植生図, とうきゅう環境浄化財団, 1979.
- 17) 曾根伸典: 多摩川河川敷現存植生図: とうきゅう環境浄化財団, 1983.
- 18) 奥田重俊・小舩聡子・島瀬頼子: 多摩川河川敷現存植生図: 国土交通省京浜工事事務所・河川環境管理財団, 1995.
- 19) 奥田重俊・笠原恵美: 多摩川永田橋地区現存植生図: 河川生態学術研究会多摩川研究グループ, 1998.
- 20) 島瀬頼子: 多摩川永田地区現存植生図: 河川生態学術研究会多摩川研究グループ, 2001.
- 21) 皆川朋子: 河川中流域における自然環境の変化と保全・復元に関する基礎的研究, 学位論文, 2004.
- 22) Venables, W. N. and Ripley, B. D.: Modern Applied Statistics with S Fourth Edition, Springer, 495pp, 2002.
- 23) 李参熙・山本晃一・望月達也・藤田光一・塚原隆夫・渡辺敏: 扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究. 土木研究所資料, 第3622号, 168pp, 1999.

(2006. 9. 30受付)