

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

FUNDAMENTAL FIELD OBSERVATION ON THE PLANT COMMUNITY
OF *Robinia pseudoacacia* L. ON SAND BAR IN WATARASE RIVER

池田裕一¹・亀田涼²・浅枝隆³・坂本健太郎⁴

Hirokazu IKEDA, Ryo KAMEDA, Takashi ASAEDA and Kentaro SAKAMOTO

¹正会員 博士(工学) 宇都宮大学大学院准教授 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)

²学生会員 学士(工学) 宇都宮大学大学院博士前期課程 工学研究科学際先端システム学専攻
(同上)

³正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科環境制御工学専攻
(〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

⁴正会員 博士(工学) 株式会社建設技術研究所 東京本社環境部
(〒330-7701 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6 CTIさいたまビル)

Field observation was performed on settlement and enlargement of plant community of *Robinia pseudoacacia* L. on and around a sand bar in Watarase River. The observation site was divided into three areas, the downstream region of the sand bar (area A), the upward region of the sand bar (area B), and the edge line of the flood plain near the sand bar (area C). The location, tree height, diameter at breast height, crown width, height of the lowest branch and tree age were measured for each individual of *Robinia pseudoacacia* L. in area A, B, and C. It was shown, from tree age analysis, that the settlement and enlarge processes of the community in each area are different and closely related to annual variation of the water level. In addition, growth model with using allometry relations, which were obtained from present research, was developed and examined.

Key Words : *Robinia pseudoacacia* L., Watarase River, individual investigation, settlement, water level, allometry, growth model

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阻害、またそれによる水面の上昇や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。生態学的には、河川本来の河川の生態系の消失が懸念される。

特に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¹⁾⁻³⁾。冠水頻度のごく低い高水敷だけでなく、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。

ハリエンジュは出水後の繁殖が顕著で、砂州上に繁茂している場合には、中小の出水においても多くの種子が流されて河道内に広く散布され、また倒木からも数多くの萌芽が見られる。こうした複雑な生態を考慮して繁茂状況の把

握・予測を検討した例は未だ少ない^{4),5)}。また砂州上での従来からの優占種であるヤナギ類との定量的な競合関係も具体的に明らかにされてはいない。

そこで本研究では、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、ハリエンジュの定着・拡大過程と出水との関係や、ヤナギ類との競合状況について基礎的な検討を行い、アロメトリー関係を利用した生長シミュレーションの適用を試みる。

2. 現地調査

(1) 調査地点及び時期

調査地点は渡良瀬川中流部、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、およそ下流側半分の区間とした。この区間をハリエンジュの生息環境の違いを考慮し、

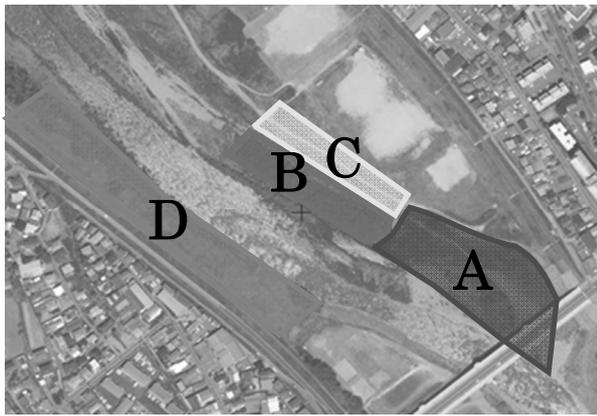


図-1 調査地点

以下の4つのエリアに分けて毎木調査と年輪調査を行った。
 エリアA:砂州上で、ハリエンジュが優占している領域、
 エリアB:砂州上で、ヤナギが優占している領域、
 エリアC:高水敷の肩部分で、比較的比高の高い領域、
 エリアD:エリアA, B, Cの対岸、年輪調査のための領域。
 これらの具体的な位置関係を図-1に示す。

なお、調査は2011年10月～2012年1月の期間に数回にわたって実施した。

(2) 調査方法

a) 毎木調査

エリアA, B, Cにおいてはハリエンジュの毎木調査を行った。エリアAでは約120本程度、エリアBでは約70本、エリアCでは約230本の各エリアに点在する全てのハリエンジュ、合計およそ420本の個体の調査を実施した。

調査項目は各個体の位置座標、胸高直径、樹高、樹冠幅、枝下高さ、河床材料の状況、幹の傾きや、リター(漂着物)高さ等である。胸高直径の測定にはノギスを用い、その他の長さの測定には標尺あるいは巻き尺を用いた。位置座標については、GNSS受信端末により緯度・経度を記録した。

なおエリアBでは、優占種のヤナギの全個体の調査は困難であったので、40個体を抽出したサンプル調査とした。

b) 年輪調査

エリアDにおいてハリエンジュ約30本を選定し、胸高直径と樹高を計測してから、胸高で切断して年輪を数えた。このエリアでの調査結果を用いて、エリアA, B, Cにおける各個体の樹齢を推定した。

3. 調査結果および考察

(1) 樹齢分布

エリアDで行った年輪調査で得られた樹齢と胸高直径および樹高との関係をそれぞれ図-2、図-3に示す。これらの関係はおおよそべき乗の形で表すことが出来る(図中の直線)。その係数、指数および決定係数を表-1に示す。胸高直径を用いる方が、樹高のものよりも決定係数が大きいのは、測定方法の違い(胸高直径はノギス、樹高は標尺で目測)に

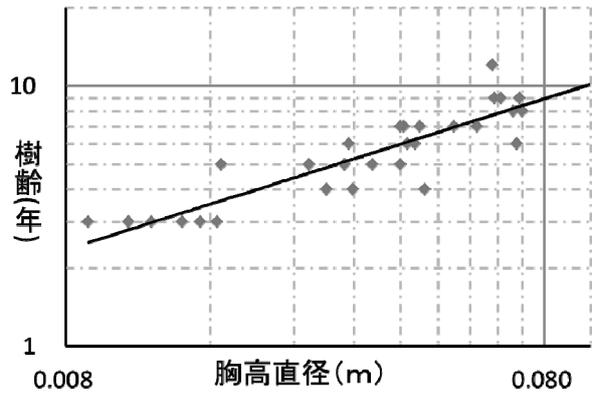


図-2 胸高直径と樹齢の関係

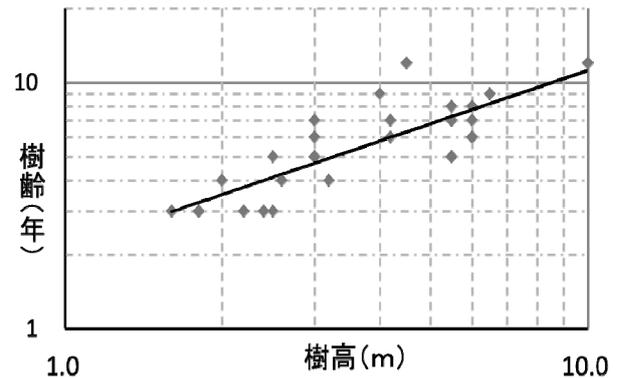


図-3 樹高と樹齢の関係

表-1 樹齢の推定式(べき乗則)

y	$y = bx^k$			決定係数
	x	b	k	
樹齢(年)	胸高直径(m)	38.566	0.5794	0.801
	樹高(m)	2.1325	0.7202	0.673

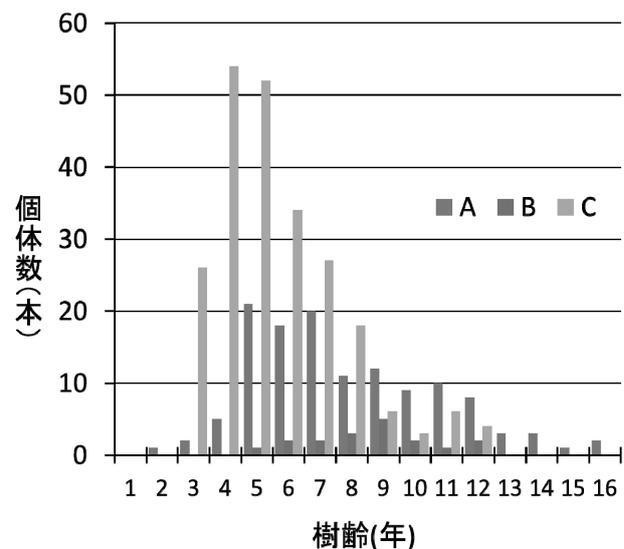


図-4 樹齢の個体数分布

も一因があると考えられる。これより本研究では、胸高直径を用いた推定式を用いて、エリアA, B, Cにおける個体の樹齢を評価することにした。

各エリアにおける樹齢の個体数分布を図-4に示す。この

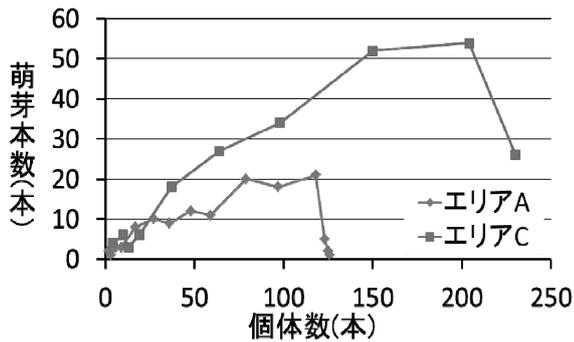


図-5 個体数と萌芽本数の関係

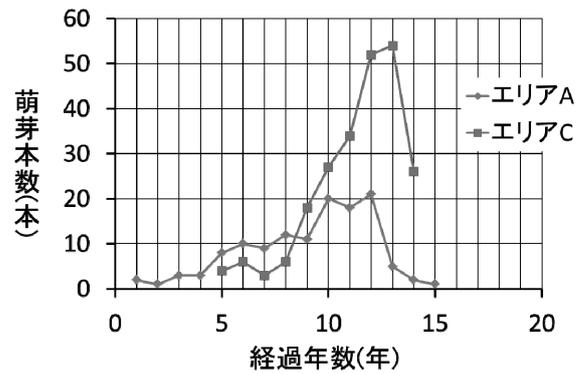


図-6 経過年数と萌芽本数の関係



図-7 ハリエンジユの樹齢の平面分布

図より、ハリエンジュが初めて定着したおおよその時期が、エリアAでは16年前、エリアBでは12年前、エリアCでは12年前と確認できる。またエリアAでは樹齢5～7年にピークが、エリアCでは4～5年に顕著なピークが見られる。エリアBでは全体の個体数が少なく、ピークはさほど明確ではない。

図-5、図-6は、樹齢分布を元に、エリアA、Cにおける萌芽本数の推移を、それぞれ全個体数および経過年数に対応させて示したものである。図-5より、群落ごとに個体数がある本数にまで達すると、新たな個体数が減少する傾向が見られる。また図-6では、初めて定着してから4～7年において萌芽本数が大きく増加し、その後ピークを迎えて減少に転じている。エリアCではAに比べて、個体あたりの萌芽本数が多く、萌芽本数がピークに至るまで年数も短い。比高による環境の相違が現れたものといえる。

(2) 平面分布

図-7は、ハリエンジュの個体の位置座標を空中写真上に示したものである。各プロットがハリエンジュ個体の位置を示しており、各個体の樹齢に応じて、プロットの種類を変えている。これにより各エリアにおけるハリエンジュの定着・拡大過程の相違を推察することができる。

エリアAでは、まず樹齢16年の個体の位置に初めてハリエンジュが侵入し、その少し下流側に樹齢9～15年の個体が分布しており、さらにその下流側に樹齢9年未満のものが分布している。これよりエリアAでは、定着した個体の下流側に群落が広がっているといえる。これは、定着後数年して種子を散布することも要因の一つではあるが、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ことも影響していると考えられる。

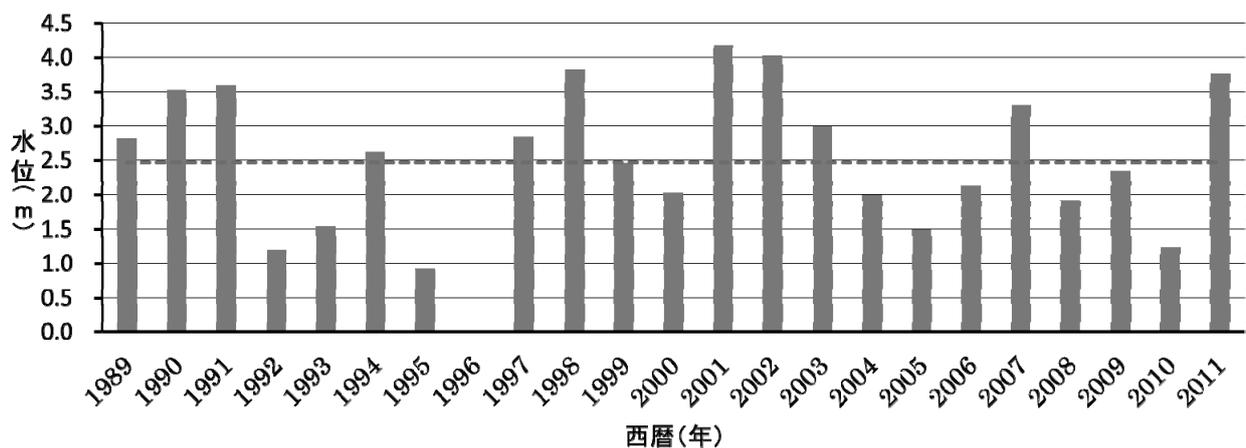


図-8 高津戸での年間最高日水位

エリアBではヤナギ類が優占しており、ハリエンジュのほとんどがヤナギ群落の上流側で確認できた。樹齢による分布の特徴はあまり見られず、ヤナギ群落を取り囲むようにランダムに定着・生長している。おおよその状況としては、エリアBとCの境界に沿う二次流路の周辺と本川に沿う水辺のやや比高が高い領域、またヤナギ群落の上流端付近に特に分布している。ヤナギ類のサンプル調査から、このヤナギ群落は約16年前から形成されており、この群落とその周辺にハリエンジュの種子(あるいは萌芽可能な個体の一部)や細粒土砂がトラップされ、比高が高く条件の良い場所でハリエンジュが定着してきたものと考えられる。

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、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号による出水のため、その程度の出水ならば、このエリアにも種子が漂着する可能性があるといえる。そして、エリアA、Bよりも冠水頻度が少なく条件が良好なために、短い期間で多くの個体が繁茂することが可能と考えられる。エリアCの他の部分には漂着物はほとんどないので、砂州上のヤナギ群落の影響でこの部分の水位がより高くなったのではないかと推測される。こうした流況の再現については今後の検討課題である。

(3) 水位との関係

ハリエンジュの定着・拡大の主な原因は、出水により上流から細粒土砂や種子を含んだ水が流れ込み、それらが堆積することといえる。一方で出水は河床材料の攪乱を起こし、それが負の要因にもなる。そこで調査地点の上流にある高津戸観測所における年最高水位の経年変化を図-8に示す。この地点で最高水位が現れるのは、ほとんど毎年6月～9月の間である。図中の太い破線は、図に表示した期間における平均年最高水位を表している。今回の調査で、2011年の最高水位でエリアCに薄く漂流物が堆積することが判明したので、この水位が高水敷に乗り上げる目安になる。

先述のようにエリアAへのハリエンジュ侵入は約16年前であり、これは図-8では1994年の増水に対応しており、その後

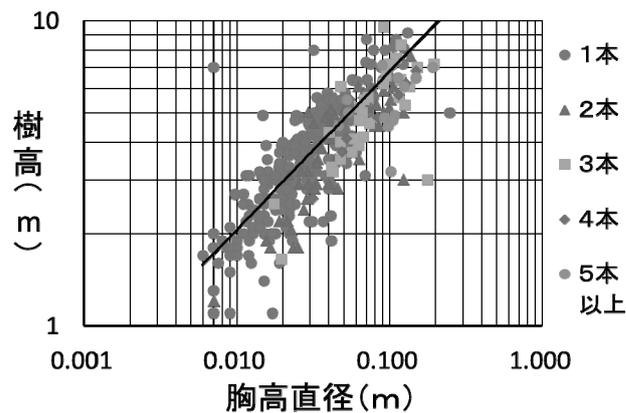


図-9 胸高直径と樹高のアロメトリー関係

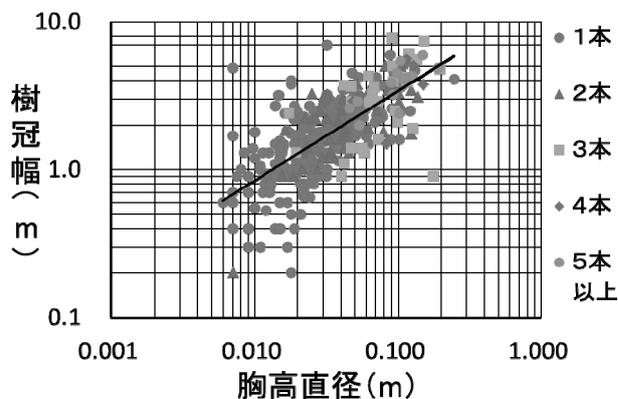


図-10 胸高直径と樹冠幅のアロメトリー関係

2年ほど大きな出水がなかったため発芽したと考えられる。

またエリアCへの侵入は12年前で、これは1998年の増水に対応していると考えられる。ただし、その後の2001～2003年にも大きな出水で浸水したために発芽が遅くなった可能性がある。しかしその後は大きな出水がなく状況が安定し、一斉に発芽したために、樹齢4～6年の個体が極めて多くなったものと推察される。

(4) 形状特性のアロメトリー関係

毎木調査で得られたデータを基に、胸高直径と樹高および樹冠幅との関係をそれぞれ図-9および図-10に、樹高と枝下高さとの関係を図-11に示す。ただし、胸高で

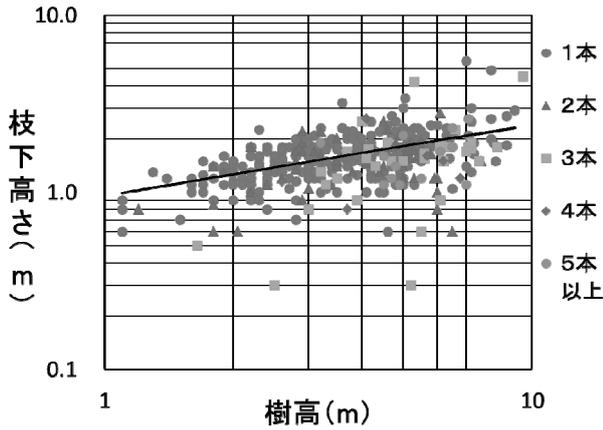


図-11 樹高と枝下高さのアロメトリー関係

幹が複数に分かれている場合には、それらの断面積の合計と同じ面積をもつ円の直径を見かけの胸高直径とした。これらの図中では幹の本数に応じて、プロットの種類を変えている。

図-9, 10を見ると、幹の本数により若干の違いは見られるものの、全体的なばらつきの範囲内といえる。特に胸高直径が2cm以上の範囲では、幹の本数に関わりなく、樹高および樹冠幅が胸高直径とおおよそべき乗の関係にあるといえる。

また図-11を見ると、枝下高さが樹高に対しておおよそべき乗則に従うことがわかる。樹高が胸高直径に対してべき乗の関係であるので(図-9)、結局、枝下高さも胸高直径のべき乗で表すことができるといえる。ただし、図-10の両対数グラフ上の傾きが1より小さいことから、個体の成長に伴い樹高が増加しても、枝下高さはそれほど大きくなることがわかる。

以上のような個体形状のアロメトリー関係の定数を表-2に示す。平生ら⁵⁾の調査結果では、胸高直径による樹高および樹冠面積のアロメトリー指数 α がそれぞれ0.4262, 1.3246である。胸高直径を用いた本研究の結果は、それぞれ0.4537, 後者が(表-2の値を2倍して)1.243であり、類似した結果が得られたといえる。

4. アロメトリー関係を用いた生長モデル

本研究においても形状に関しては平生ら⁵⁾と同様のアロメトリー関係が得られた。平生らはさらにこのようなアロメトリー関係を用いた生長モデルを提案している。ただし、その内容は多少複雑であるので、ここではそれを簡略化したモデルを構築し、その適合性を検討する。

(1) 生長の支配方程式

木本類の正味の生産量は光合成による総生産量から呼吸量および枯死量を差し引くことで与えられるものとする。すなわち、

表-2 形状のアロメトリー関係の係数と指数

$y = C \cdot x^\alpha$			
y	x	C	α
樹高	胸高直径	16.122	0.4537
樹冠幅	胸高直径	14.820	0.6214
枝下高さ	樹高	0.9567	0.3996

※長さの単位は m

$$\frac{dB_T}{dt} = \sum_i Ph(i) - \sum_n R_n - \sum_n D_n \quad (1)$$

ここで、 t :時間、 B_T :樹木の全体バイオマス、 $Ph(i)$ は樹冠の上端から i 番目の層における光合成量、 R および D はそれぞれ呼吸量および枯死量であり、下添字 n は樹木を構成する各器官(葉: L 、枝: B 、幹: S 、根: R)を意味する。

器官 n の呼吸量および枯死量は以下のように示される。

$$R_n = R_{n,max} \theta^{T-T_0} \frac{K_{Rage}}{K_{Rage} + age} B_n \quad (2)$$

$$D_n = D_{n,max} \theta^{T-T_0} \frac{K_{Dage}}{K_{Dage} + age} B_n \quad (3)$$

ここに、 B_n は添字 n で示される器官のバイオマス、 $R_{n,max}$ および $D_{n,max}$ はそれぞれ最大呼吸量および最大枯死量、 θ は温度定数、 T は日平均気温、 T_0 は標準気温 20° 、 age は樹齢、 K_{Rage} および K_{Dage} はそれぞれ呼吸と枯死に関する樹齢の影響を示す半飽和定数である。

光合成量は以下のように示される。

$$Ph(i) = P_{max} k_{CO} \theta^{T-T_0} \times \frac{I_{PAR}}{K_{PAR} + I_{PAR}} \frac{K_{Page}}{K_{Page} + age} B_L(i) \quad (4)$$

ここに、 P_{max} :最大日光合成量、 k_{CO} は炭素からバイオマスへの変換係数、 I_{PAR} は i 層で光合成に利用される光量、 K_{PAR} および K_{Page} は光合成に関する光量および樹齢の影響を示す半飽和定数である。

樹冠内の光量 I_{PAR} は、葉面積指数を用いたBeer-Lambertの式より求める⁵⁾。

(2) バイオマスのアロメトリー関係

全体バイオマスおよび各器官のバイオマスは、胸高直径 D_{BH} とのアロメトリー関係で表されるものとする。すなわち、

$$B_n = C_n D_{BH}^{\alpha_n} \cdot h_n(jday) \quad (5)$$

ここに、 C_n 、 α_n はアロメトリー関係の係数および指数、 h_n は季節変化を示す関数であり、葉に関しては

$$h_L(jday) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sin \left(\frac{jday - jday_0}{365} \cdot 2\pi \right) \right\} \quad (6)$$

表-3 モデルパラメータ

温度定数	θ	1.09
標準温度	T_0	20
最大呼吸量	$R_{L,max}$	0.05
	$R_{B,max}$	0.003
	$R_{S,max}$	0.003
	$R_{R,max}$	0.003
最大枯死量	$D_{L,max}$	0.0006
	$D_{B,max}$	0.0006
	$D_{S,max}$	0.0006
	$D_{R,max}$	0.0006
半飽和係数	K_{Rage}	5
	K_{Dage}	5
	K_{Page}	30
	K_{RAR}	$65 \cdot 10^6$
日光合成量	P_{max}	1.05
変換係数	k_{CO}	2.04
葉の季節変化	J_{day_0}	150

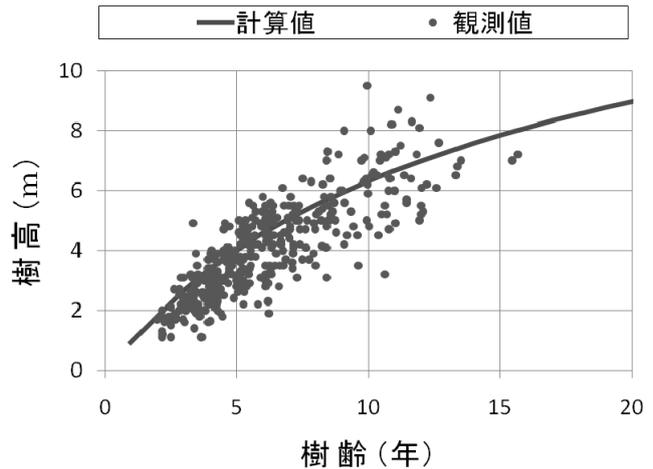


図-12 樹高の計算結果と観測値の比較

とし、葉以外に関しては1とする。ただし、 j_{day_0} はユリウス日、 j_{day_0} は位相差である。

(3) 気象モデル

日射量および日平均気温は、対象地域の緯度とユリウス日を与えて、半理論的に求めることにした。詳細は平生ら⁹⁾の研究を参考にされたい。

(4) 生長モデルの適用

以上のモデルには、数多くのパラメータが含まれる。このうち、バイオマスのアロメトリー関係については、平生ら⁹⁾が膝高直径を用いて表した式を、胸高直径を用いる式に変換した。その際、お互いの樹高と樹冠面積のアロメトリー関係が合うように配慮した。またその他のパラメータについては、平生ら⁹⁾と同様のものとし、今回のモデルに合わせて微調整した。その結果を表-3に示す。

図-12は、本研究で構築した生長モデルによる計算結果と現地調査での樹高の観測値を比較したものである。図中の実線がモデルによる計算結果であり、プロットがエリアA、B、Cで調査したハリエンジュ約420個体について、樹齢に対する樹高の観測値の分布を示している。ただし、各個体の樹齢は、胸高直径を用いた推定式(表-1参照)から算出した。これを見ると、観測値のプロットが大きくばらついてはいるものの、計算値はその全体的な傾向を表しているといえる。

5. 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個体調査を実施し、定着過程と水位との関連性について検討を行ったところ、定性的には整合性のある関

係性を見出すことができた。

またアロメトリー関係を用いた生長モデルを構築し、その適用性を確認することができた。

今後は、定着過程を定量的に評価するとともに、生長モデルに競合関係も組み込み、砂州上の樹林化モデルへと発展させていく必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、河川整備基金の研究助成を受けた。また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) 清水義彦, 小葉竹重機, 小松みわ子, 中沢芳美: 渡良瀬川中流域における河道内樹林化について: 土木学会第 53 回年次学術講演会, pp. 602-603, 1998.
- 2) 清水義彦, 小葉竹重機, 岡田理志, 新船隆行, 岩崎工: 洪水攪乱によるハリエンジュの破壊・再生と河道内樹林化について, 河川技術に関する論文集, Vol. 6, pp. 59-64, 2000.
- 3) 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.
- 4) 坂本健太郎, 渋谷嘉昭, 浅枝隆: 樹林化が進行中の砂州内における樹木の生長特性に関する研究, 河川技術論文集, Vol. 13, pp. 207-212, 2007.
- 5) 平生昭二, 浅枝隆, 坂本健太郎: アロメトリー関係を用いた河畔樹木の生長モデルの開発とその応用, 水工学論文集, Vol. 55, pp. 1375-1380, 2011.

(2012. 4. 5受付)