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

DEVELOPMENT OF A GROWTH MODEL OF RIPARIAN TREES, BASED ON THE ALLOMETRIC RELATIONS, AND ITS APPLICATION

平生昭二¹・浅枝隆²・坂本健太郎³

Shoji HIRAO, Takashi ASAEDA and Kentaro SAKAMOTO

¹正会員 工修 株式会社建設技術研究所 東京本社河川部
(〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6 CTIさいたまビル)

²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)

³正会員 工博 株式会社建設技術研究所 東京本社環境部
(〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6 CTIさいたまビル)

A dynamic model of the growth of riparian trees, based on the energy budget of the plant and widely used empirical allometric relations, is developed, as to be capable for multi-purpose in river management. The model was applied to *Salix gilgiana* and *Robinia pseudoacacia*, common riparian species in Japanese rivers. The model successfully reproduced the morphological characteristics of these species observed on the sand bar of Arakawa river. The observation also indicated that *Salix gilgiana* colonized only less than 3m high from the normal water surface, while *Robinia pseudoacacia* did at higher than 3m, and the colonization of both species was peaked with tree biomass of approximately 100ind/ha. The model provides the maximum biomass, thus, was approximately 20,000kg/ha.

Key Words : Growth model of riparian trees, biomass, allometric relations, production, respiration, mortality, maximum biomass

1. はじめに

我が国の河川では、流下能力確保のために樹木群を伐採しているが、数年で元の状態まで再繁茂する事例が多く見られる。この河道内の樹木群や植生繁茂の拡大は、洪水時の抵抗増加要因となり、流下能力不足や偏流発生、洪水調節施設の調節効果への影響等、河道の量的・質的安全度の低下を引き起こしており、治水機能の確保・維持を図る樹木管理方策の立案が重要な課題となっている。また、樹木群が繁茂するエリアは、良好な河川環境を形成していることが多く、この環境の保全・復元（ハビタット、礫河原再生等）を図ることが求められている（崎尾，山本^{10）}；沖野^{11）}）。今後、治水面・環境面に配慮した効率的な河道管理を実施していくためには、河道内の植生・樹木群の生長・遷移を踏まえた河道整備・管理を行うことが必要であり、それを定量的に評価可能な

解析モデルの開発が望まれている。

近年、植生の消長・生長プロセスについては、数多くの研究が行われている。藤田ら^{12）}は、平面二次元河床変動解析モデルと植生の遷移機構モデルを組合せ、河道流量の変化による河床変動と植生の遷移・流出機構を再現している。また、八木澤ら^{13）}は、洪水によって破断・倒伏した破壊形態が植生遷移を遅らせる効果を取り入れた植生動態モデルを構築し、植生の破壊・回復・拡大現象を再現している。戸田^{10）}らは、天竜川下流域を対象として、植生域長期変化解析手法の構築を行っている。しかしながら、物理機構の解明が対象となっており、植生の生理機構の導入や木本類の生長を考慮するまでには至っていないのが現状である。

植物の生長には様々な要因が複雑に関係しており、モデル化においても多くの未知なパラメータが必要となる（Asaeda and Karunaratne^{2）}）。しかしながら、そうしたパラメータの導入は、実際とかけ離れた機構を仮想的に創

出してしまうことになりかねない。そのため、植生のモデル化においては、可能な限り、一般的な経験則を導入する必要がある。樹木の場合、最も頻繁に利用される経験式は、胸高直径（DBH）を利用したアロメトリー式であろう（Cleugh et al）．この関係は、植物の形態を一種の相似則に置き換えたものであり、立地環境条件等で様々な諸元となる現地樹木とは多少の誤差があるものの、樹木生長特性・変化を把握する上では十分な精度を持つ。

Asaeda and Kalibbala³⁾は、マングローブを対象に、一般的な植物のエネルギー式にアロメトリー式を利用することで、年間生長量をモデル化している。しかし、これが一般的に利用可能なものであるかについては未検証である。もし、広く利用可能であるとすれば、利用価値は高いと考えられる。

本研究では、河川管理に向けた応用のために、まず、河道内の木本類のバイオマスに着目した生長モデルを開発・提案することを目的とし、現地樹木調査（樹齢・諸元・バイオマス等）を実施して、アロメトリー関数の把握、及び木本類の生長（樹高）の再現を行ったものである。また、荒川熊谷地区の砂礫堆を対象に、最も密に樹木が入り込んだ時のバイオマス量を見積もることに応用してみたものである。

2. 木本類の生長予測モデルの開発

木本類は、草本類と同様に光合成メカニズム、各器官への物質輸送で全体バイオマスのバランスを保持していると考えられる。本研究では、全体のバイオマス変化を規定する支配方程式を構築し、各器官の生長方程式を光合成、呼吸、枯死を考慮していく内容とし、その生長過程は、従来より多数観測されているアロメトリーの関係を用いるものとした。

(1) 生長の支配方程式

木本類の正味の生産量（Net production）は、光合成による総生産量（Production）から呼吸量（Respiration）及び枯死量（Mortality）を差し引くことで与えられ、以下のように示される。この正味の生産量が木本類の生長に寄与する。

$$\text{Net production} = \frac{dB_T}{dt} = \text{Production of canopy} - \sum_{\text{organ}} (\text{Respiration}) - \sum_{\text{organ}} (\text{Mortality}) \quad (1)$$

ここで、 B_T は樹木の個体の総バイオマスであり、それぞれの器官 n （葉、枝、幹、支持根、根）のバイオマス B_n の和である。また、器官 n の呼吸量 R_n 及び枯死量 D_n はバイオマスに比例するとして以下のように示される。

$$R_n = \beta_n \theta^{T-T_0} \left(\left(\frac{K_{\text{Rage}}}{K_{\text{Rage}} + \text{age}_{\text{tree}}} \right) + C \right) B_n \text{ for 器官}n. \quad (2)$$

$$D_n = \gamma_n \theta^{T-T_0} \left(\left(\frac{K_{\text{Dage}}}{K_{\text{Dage}} + \text{age}_{\text{tree}}} \right) + C \right) B_n \text{ for 器官}n \quad (3)$$

β_n と γ_n はそれぞれ、最大呼吸量及び最大枯死量を、 θ は代謝量に対する温度の影響を表す係数（ ~ 1.09 ）、 T は日平均気温、 T_0 は標準気温20度、 age_{tree} は樹齢、 K_{Rage} 及び K_{Dage} は呼吸と枯死に関する老化の影響を示す半飽和定数、 C は定数である。なお、 K_{Rage} 、 K_{Dage} 、 C は経験的に求められる定数である。

(2) 光合成、各器官への輸送

光合成及び各器官への輸送量は以下に示される。

$$Ph(i) = P_m k_{CO} \theta^{T-T_0} \frac{I_{PAR}}{K_{PAR} + I_{PAR}} F(\text{age}) \cdot LAI(i) \quad (4)$$

ここで、 $Ph(i)$ は i 層における1日の総生産量、 P_m は最大日光合成量、 k_{CO} は炭素からバイオマスへの変換係数である。また、 I_{PAR} は i 層で光合成に利用される光量、 K_{PAR} は光合成速度に対する半飽和定数、 $F(\text{age})$ は樹齢に対する生長速度の半飽和定数 K_{age} を用いて $K_{\text{age}}/(K_{\text{age}} + \text{age}_{\text{tree}})$ で示される老化の影響を示す関数である。

また、 $LAI(i)$ は i 層における葉面積指数（Leaf Area Index）を示す。なお、 I_{PAR} は日射量の40%～45%程度である。

樹木のキャノピー内での日射量は、 i 層より上部に位置する葉の影の影響を受けて、 i 層より下では急激に低減する。この日射量の低減効果は以下のビアー・ランバートの法則（Beer-Lambert Law）が適用でき、精度よく示される。

$$I_{PAR}(i) = I_{PAR0} \exp(-kF(i)) \quad (5)$$

ここで、 I_{PAR0} はキャノピー最上部での光合成に利用可能な光量を、 $I_{PAR}(i)$ はそれより下で幹及び葉による射影指標が $F(i)$ となる i 層での光合成に利用可能な光量を、 k は射影指標 $F(i)$ に対する減衰係数を示す。また、射影指標 $F(i)$ は以下のように表される。

$$F(i) = F_L LAI(i) \quad (6)$$

$$LAI(i) = \left(\sum_{i=i-\text{th layer}}^{\text{top of the canopy}} (B_L(i) + B_B(i)) \right)^{B_{LAI}}$$

ここで、 F_L は葉面積指数（Leaf Area Index）から射影指標への転換係数、 $B_L(i)$ 及び $B_B(i)$ は、 i 層での葉及び幹のバイオマスを示す。

(3) 胸高直径を関数とした支配方程式

器官 n のバイオマスが胸高直径（DBH）の関数として、 $B_T = F_n(\text{DBH})$ と表されるとすると、器官 n のバイオマスの時間変化は次式で与えられる。

$$\frac{dB_n}{dt} = \frac{dF_n(\text{DBH})}{d(\text{DBH})} \frac{d}{dB_T} F_T^{-1}(B_T) \frac{dB_T}{dt} \quad (7)$$

ここで、 $F_T^{-1}(B_T)$ は F_T の逆関数であることから、 $\text{DBH} = F_T^{-1}(B_T)$ となる。 dB_T/dt は純生産量であること

から、生長の支配方程式に代入すると、以下のように示される。

$$\frac{dB_T}{dt} = \sum_{i=layer} ph(i) - \sum_{n=organ} \left[\left(\beta_n g^{T-T_0} \left(\frac{K_{Rage}}{K_{Rage} + age} + C_{Rage} \right) B_n \right) + \left(\gamma_n g^{T-T_0} \left(\frac{K_{Dage}}{K_{Dage} + age} + C_{Dage} \right) B_n \right) \right] \quad (8)$$

なお、全体バイオマス及び各器官のバイオマスは胸高直径のアロメトリー関係で示されものとする。

$$\text{全体バイオマス（地上部）} : B_{AG} = A_{AG} DBH^{C_{AG}} \quad (9)$$

$$\text{葉バイオマス} : B_L = A_L DBH^{C_L} \quad (10)$$

$$\text{枝バイオマス} : B_B = A_B DBH^{C_B} \quad (11)$$

$$\text{幹バイオマス} : B_S = A_S DBH^{C_S} \quad (12)$$

$$\text{根バイオマス} : B_R = s B_{AG} \quad (13)$$

$$\text{樹高} : H = A_H DBH^{C_H} \quad (14)$$

$$\text{キャノピーの底高さ} : L = EH \quad (15)$$

$$\text{キャノピーの面積} : B_c = A_c DBH^{C_c} \quad (16)$$

である。ここで、簡単化のために、地下部と地上部のバイオマス比を一定値 s とおくと、器官 n のバイオマスの時間変化は、以下に示される。

$$\frac{dB_n}{dt} = H_n E_n B_T^{E_n-1} \frac{dB_T}{dt} h(t) \quad (n = L, B, S) \quad (17)$$

ただし、

$$\frac{dB_R}{dt} = s \frac{dB_T}{dt} h(t) \quad (18)$$

$$H_n = \frac{A_n}{A_{AG}^{C_{AG}}} \quad (n = L, B, S) \quad (19)$$

$$E_n = \frac{C_n}{C_{AG}} \quad (n = L, B, S) \quad (20)$$

$$h(t) = [1 + (\sin(day - 97)\pi / 365)] / 2.0 \quad (21)$$

である。ここで、 H_n 、 E_n は全体アロメトリーの係数と各器官の係数の比である。 $h(t)$ は季節変化を示す関数であり、葉以外は $h(t)=1$ がほぼ成立する。

また、樹高、樹幹面積は以下のように示される。なお、キャノピーの底高さは一意的な関係が得られないことから、簡略化して樹高に対する比率 s_e で与えることとした。

$$\frac{dH}{dt} = D_N E_N B_T^{E_N-1} \frac{dB_T}{dt} \quad (22)$$

$$\frac{dL}{dt} = s_e \frac{dH}{dt} \quad (23)$$

$$\frac{dC_c}{dt} = D_{NC} E_{NC} B_T^{E_{NC}-1} \frac{dB_T}{dt} \quad (24)$$

(4) 気象のモデル化

木本類の生長期間は、数十年を考慮する必要があるため、気象データをその都度収集し、データとするのは効率的ではない。このため、ここでは、日射量と気温についてモデル化するものとした。

a) 日射量モデル

日射量は、快晴日の地上における日積算日射量 $S_{df} \downarrow$ を用いて、以下のようにモデル化される。

$$S_{df} \downarrow = S_{0d} \downarrow (C' + 0.7 \times 10^{-f \cdot m}) \times (1-i) \cdot (1+j) \quad (25)$$

$$S_{0d} \downarrow = \left(\frac{I_d}{\pi} \right) \cdot d^{*2} \cdot (h \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin(h)) \quad (26)$$

$$\sin\left(\frac{h}{2}\right) = \left(\frac{\sin A_1 \sin A_2}{\cos \phi \cos \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

$$A_1 = \left(\frac{\pi}{4} \right) + \frac{\phi - \delta + \gamma}{2} \quad (28)$$

$$A_2 = \left(\frac{\pi}{4} \right) + \frac{\phi - \delta - \gamma}{2} \quad (29)$$

$$d^{*2} = 1.00011 + 0.0034221 \cos \eta + 0.00128 \sin \eta + 0.000719 \cos 2\eta + 0.000077 \sin 2\eta \quad (30)$$

$$\eta = \frac{2\pi j \text{day}}{365} \quad (31)$$

$$C' = \begin{cases} 0.21 - 0.2Ab & (Ab \leq 0.3) \\ 0.15 & (Ab \geq 0.3) \end{cases} \quad (32)$$

$$f = 0.056 + 0.16Ab^{\frac{1}{2}} \quad (33)$$

$$i = 0.028(0.5m + 3.5 + \log_{10} w) \log_{10} w \quad (34)$$

$$j = \left(0.066 + 0.34Ab^{\frac{1}{2}} \right) \cdot (ref - 0.15) \quad (35)$$

$$m = k_d \cdot m_0 \quad (36)$$

$$m_0 = \begin{cases} \frac{1}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta} & \left(|\phi - \delta| < \frac{\pi}{2} \right) \\ \infty & \left(|\phi - \delta| \geq \frac{\pi}{2} \right) \end{cases} \quad (37)$$

$$k_d = 1.402 - 0.06 \log_{10}(Ab + 0.02) - 0.1(m_0 - 0.91)^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

$$\log_{10} w = 0.0312Td - 0.0963 \quad (39)$$

ここで、 $S_{0d} \downarrow$ は大気上端における日積算日射量、 Ab は大気混濁係数（きれいな大気では0.10とする）、 C' は大気放射に及ぼす雲の効果のファクター、 d^* は地球と太陽との平均距離を日々の距離で除したもの、 h は日の出から南中までの時角（rad）、 I_d （=118.11MJm⁻²）は太陽定数に1日の長さを乗じた値、 j dayはユリウス日、 ref は水面のアルベード（0.06）、 Td は露天温度（10℃）、 w は可降水量（cm）、 δ は太陽赤緯、 ϕ は緯度、 γ （=9.89×10⁻³rad）は太陽光の地平屈折度を表す。

なお、太陽赤緯は以下の略算式より求まる。

$$\delta = 23.440 \times \sin \left[\frac{0.9856 \times (j \text{day} - 80) - 3.8100}{\sin \{0.4825 \times (j \text{day} - 80)\}} \right] \quad (40)$$

また、モデルで使用する単位（μEm-2d-1）における快晴日の日積算日射量 Q_0 は、下式で変換される。

$$Q_0 = 4 \times 10^6 S_{df} \downarrow \quad (41)$$

写真-1 観測対象とした荒川熊谷地区

写真-2 伐採した地上部と地下部の掘り出し（カワヤナギ）

図-1 各樹種の現地観測結果（膝高直径との関係）

b) 気温モデル

日射量を緯度でモデル化したのと同様に、気温についても概略緯度でモデル化される。まず、任意の緯度における年平均気温は、日射位（直射光の理論上可能な最大値）との関係で定められるが、日射位は緯度の関数であるため、緯度から直接年平均気温（ T_{ave} ）が推定できる。

$$T_{ave} = 27.1 - 44.9 \cdot \sin^2(\phi - 6.5) \quad (42)$$

ここで、 ϕ は北半球の緯度である。

一方、気温波形は、厳密には日射量を与えた上で、その地点での熱収支を考慮する必要があるが、日射量とほぼ相似のサインカーブで位相差を30日として以下のようにモデル化した。

$$T = T_{amp} \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot (jday - 80 - jday^*)}{365}\right) + T_{ave} + T_{const} \quad (43)$$

ここで、 T_{amp} は気温振幅（年最高気温と年最低気温の差の1/2）、 $jday^*$ は日射量との位相差（30日）、 T_{const} は年平均気温からの偏差を表す。

3. 木本類の生長予測モデルの検証

生長予測モデルの検証は、現地調査結果より得られた樹木データを用いて、樹齢と樹高及びバイオマスとの関係を求め、計算結果との比較を行うことで実施した。

(1) 現地調査（樹木諸元、バイオマス）

現地調査を実施した荒川熊谷区間（写真-1参照）は、河口からおおよそ80k付近に位置し、河床勾配は約1/400、代表粒径は約30mmのセグメント1に属している。この区間の木本類の構成は、砂州上の比高の大きい個所等に繁茂するニセアカシア（外来種）の他、ヤナギ類、ネムノキが上位3位を占めている。この砂州上に繁茂する樹木群を対象に、樹木群諸元（樹高、胸高直径、膝高直径、樹冠幅、枝下高等）、樹齢及び各器官のバイオマスの計測を実施した（写真-2参照）。なお、樹齢は、樹木伐採時に年輪を読みとることで推定し、バイオマスの計測は、地上部においては葉・枝・幹を、地下部では根・支持根について、それぞれ乾燥重量(kg)を把握した。

(2) 木本類の生長特性の把握

木本類の生長特性を把握するため、各器官のバイオマス、樹木諸元、樹齢等との関係を整理したものを図-1に示す。なお、現地木本類は根本から枝に分かれている樹木があることから、本研究では胸高直径（地面1.3m上高さの直径）より膝高直径（地面0.5m上高さの直径）との関係性を把握することとした。また、樹齢は最大10年までの調査結果となっている。

各樹種の生長特性の違いとしては、外来種のニセアカシアの生長が最も大きく、5年で樹高3~4mまで生長するに対し、ヤナギ類は樹高2.5m程度である。また、樹齢が

表-1 アロメトリー関数一覧

		カワヤナギ	ニセアカシア	ネムノキ
葉	A_L	132.310	254.230	61.242
	C_L	1.7542	2.1112	1.6997
枝	A_B	753.520	9610.300	202.100
	C_B	2.2416	3.0127	2.0583
幹	A_S	1052.500	1602.300	1417.400
	C_S	2.1960	2.2258	2.2451
全体	A_{AG}	3907.800	2597.000	1289.700
	C_{AG}	2.2893	2.0187	1.9046
樹高	A_H	6.478	13.238	13.218
	C_H	0.3225	0.4262	0.5800
樹冠面積	A_C	112.120	333.420	1664.500
	C_C	1.2551	1.3246	1.8530

大きくなる程、樹高の生長は鈍化し、ほぼ一定値となっている。

バイオマスは、葉に関しては樹種の相違に大きな違いが見られないが、枝・幹についてはニセアカシアが膝高直径の生長によって急激に増加している。全バイオマス（地上部+地下部）に関しては、成木になるにつれ、急激に増加する傾向にある。これは、生長に伴い、より良好な環境（日照、水分、栄養塩等）を求めること、ある程度まで生長すれば競合に勝ち、安定的に生長可能であることから、幹、枝、根のバイオマスの増加率が上がるためと考えられる。

また、生長予測計算に際し、膝高直径を基準としたアロメトリー関数の算定を行った結果を表-1に示す。各樹種において、差が認められるものの、一定のアロメトリー関係が得られている。

(3) 検証計算結果

木本類の生長予測モデルの検証は、カワヤナギ、ハリエンジュ及びネムノキについて、樹齢15年程度までの計算を実施し、樹高及びバイオマスを調査結果と比較することにより行った。その結果を図-2に、各モデルパラメーター一覧を表-2に示す。なお、各パラメーターは樹高・各器官のバイオマスの観測値と一致するように同定している。今後はこの適用性について、他河川で同様な調査を実施し、明らかにしていく必要がある。

樹高については、樹齢2～3年は計算値の方が観測値よりも低い傾向にあるが、樹齢4年目以降は概ね一致しており、再現性は高い。また、樹齢8年目以降における樹高の生長が鈍化する傾向も再現できている。この生長が鈍化する現象は、樹齢が大きくなる程、全体に占める葉のバイオマスの割合が減少するため、葉のバイオマスに比例する光合成量は減少し、一方、全体のバイオマスに比例する呼吸量とのバランスにより純生産量が徐々に減少するため生じる。

バイオマスの再現性は、全体（地上部+地下部）及び地上部ともに、カワヤナギの樹齢6～8年における計算値と観測値に解離が見られるが、その他の期間やニセアカシア・ネムノキでは概ね一致している。

図-2 樹高及びバイオマスの検証結果

表-2 モデルパラメーター一覧

パラメータ		カワヤナギ	ニセアカシア	ネムノキ
最大呼吸量	葉 β_L	0.160	0.016	0.030
	枝 β_B	0.003	0.016	0.030
	幹 β_S	0.003	0.016	0.030
	支持根 β_P	0.003	0.016	0.030
	根 β_R	0.003	0.016	0.030
最大枯死量	葉 γ_L	0.00080	0.00140	0.00039
	枝 γ_B	0.00080	0.00140	0.00039
	幹 γ_S	0.00080	0.00140	0.00039
	支持根 γ_P	0.00080	0.00140	0.00039
	根 γ_R	0.00080	0.00140	0.00039
呼吸に関する老化の影響を示す半飽和定数	K_{Rage}	10.0	10.0	10.0
枯死に関する老化の影響を示す半飽和定数	K_{Dage}	5.0	5.0	5.0
最大日光合成量	P_m	1.05	1.05	1.05
炭素からバイオマスへの変換係数	k_{CO}	2.04	2.04	2.04
光合成速度に対する半飽和定数	K_{PAR}	64.86×10^6	64.86×10^6	64.86×10^6
樹齢に対する成長速度の半飽和定数	K_{age}	5.0	5.0	5.0
葉面積指数に関わる係数	A_{LAI}	5.0	5.0	4.5
	B_{LAI}	0.08	0.08	0.08
キャノピー内の光透過の広がり係数	K	0.56	0.56	0.56
温度効果係数	θ	1.09	1.09	1.09

以上のことより、アロメトリー関係を用いた本生長予測モデルは木本類の生長を十分な精度で表現可能と判断できる。

(4) 樹木の定着率からの最大バイオマス量

樹木群落のシミュレーションにおいては、樹木各個体の生長と同時に、個体の定着率が重要であるが、カワヤナギ、ニセアカシアは砂州上において、生息域が異なる (Niiyama⁶⁾, Johnson⁷⁾, Francis⁸⁾, Asaeda et al⁹⁾)。

図-3は、観測樹木（カワヤナギ、ニセアカシア）について、推定樹齢をもとに、砂州上の水面からの高さにおける、過去に遡った定着年の萌芽密度とその年の樹木密度を示したものである。最大定着率（萌芽密度）を与えた年は、観測年よりも数年前であり、ここで得られる定着率は、自己間引き以後の値と考えることができる。

定着の場所は、カワヤナギでは水面から3～4m以内、

樹木密度：樹齢をもとに、過去20ヶ年の各時点での樹木密度を表す(2つの樹種個体合計)
 萌芽密度：樹齢をもとに、過去20ヶ年の単年あたりの萌芽密度(定着)を表す

図-3 砂州上の水面からの各高さにおける樹木の萌芽密度

ニセアカシアの場合には、水面から3～4m以上となっている。定着率は、カワヤナギの場合、樹木密度100個体/haで20個体/ha程度、ニセアカシアの場合もほぼ樹木密度100個体/haで15個体/ha程度が上限となっている。これらは、過去に求められた値ともほぼ同様なものとなっている(Masaka and Yamada⁹⁾)。

本解析で得られる結果では、この定着率の上限値を与える密度では、樹木のバイオマスは最大でほぼ20,000kg/ha程度(カワヤナギ)にあっており、本砂州では、樹木は最大この程度まで増えることが予想される。

4. おわりに

本研究では、現地にて樹木群調査を実施した上で、バイオマスを用いた木本類の生長予測モデルを開発し、そのモデル検証を行い、以下に示す結論を得た。

- (1) アロメトリー関係を導入し、木本類の年間生長量をバイオマス量として予測する生長モデルは、荒川熊谷地区の砂州上に繁茂するカワヤナギ、ニセアカシア、ネムノキそれぞれの生長(樹高・バイオマス量等)を表現可能であることを示した。
- (2) カワヤナギ及びニセアカシアの定着率について、比高(水面からの高さ)別の樹木密度を示し、最大の定着率から最大バイオマス量を概算した。

なお、河道内樹木の萌芽・生長・定着要因としては、立地条件としての比高差(平水位からの高さ)、土壌状態(粒度分布、堆積厚等)及び栄養塩による影響も考えられる。今後は、現地調査で栄養塩の木本類生長への影響把握、及びそのモデル化を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) Clough B.F., Dixon P., and Dalhaus O. : Allometric relations for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. Australian J. Botany, 45, 1023-1031, 1997.
- 2) Asaeda T., and Karunaratne S.: Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: model description. Aquatic Botany, 67, 301-318, 2000.
- 3) Asaeda T., and Kalibbala M.: Modeling growth and primary production of the marine mangrove (*Rhizophora apiculata* BL): A dynamic approach. J. Experimental Marine Biology and Ecology, 371, 103-111, 2009.
- 4) Asaeda T., Gomes P.I.A., Takeda E.: Spatial and temporal tree colonization in a midstream sediment bar and the mechanism governing tree mortality during a flood event. River Research and Applications, DOI.10.1002/rra.1313 2009 (early view).
- 5) Asaeda T., Gomes P.I.A., Sakamoto K., and Rashid Md H.: Tree colonization trends on a sediment bar after a major flood. River Research and Applications, DOI.10.1002/rra.1372 2010 (early view).
- 6) 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.
- 7) Johnson WC. 2000. Tree recruitment and survival in rivers: influence of hydrological processes. Hydrological Processes 14: 3051-3074.
- 8) Francis RA. 2007. Size and position matter: riparian plant establishment from fluvially deposited trees. Earth Surface Processes and Landforms 32: 1239-1243.
- 9) Masaka K, Yamada K. 2009. Variation in germination character of *Robinia pseudoacacia* L. (Leguminosae) seeds at individual tree level. Journal of Forest Research 14: 167-177. DOI: 10.1007/s10310-009-0117-9.
- 10) 崎尾均, 山本福壽: 水辺林の生態学, 東京大学出版会, p.206, 2003.
- 11) 沖野外輝夫: 洪水がつくる川の自然, 信濃毎日新聞社, p.253, 2006.
- 12) 藤田光一, 李参熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No.747/II-65, pp.20-33, 2003.
- 13) 黒田直樹, 西村達也, 関根秀明, 浅枝隆, 石井豊昭: 荒川熊谷地区を対象とした河道内の樹林化予測モデルの開発, 水工学論文集, 第54巻, pp.1243-1248, 2010.
- 14) 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, 第13巻, pp.207-212, 2007.
- 15) 八木澤順治, 田中規夫: 河道内植生の洪水による破壊・再生を考慮した植生動態モデルの開発, 水工学論文集, 第53巻, pp.1171-1176, 2009.
- 16) 戸田祐嗣, 土屋允人, 辻本哲朗: 砂州移動の活発な礫河川における植生域長期変化解析手法の構築～天竜川下流域を対象として～, 水工学論文集, 第54巻, pp.1249-1254, 2010.

(2010. 9. 30受付)