

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

GROWTH CHARACTERISTICS OF TREES ON A FORESTING SANDBAR

坂本健太郎¹・渋谷嘉昭²・浅枝隆³

Kentaro SAKAMOTO, Yoshiaki SHIBUYA and Takashi ASAEDA

¹非会員 工修 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)

²非会員 学士 埼玉大学大学院博士前期課程 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 埼玉大学大学院教授 理工学研究科環境制御工学専攻 (同上)

We observed growth characteristics of trees on a foresting sandbar in Arakawa River. This sandbar was highly characterized by the three dominant tree species, *Salix giogiana Seemen*, *Robinia pseudoacacia L.* and *Albizia julibrissin Durazz*. In this study, we measured biomass, below and above ground biomass (AGB & BGB etc.), tree diameter at knee height (DKH), tree age and soil grain size.

As a result of analysis, the relation biomass (BGB & AGB etc.) and DKH, were expressed in allometric relationship. On the other hand, because the risk that own fall down of a flood decrease by letting BGB grow up than AGB, *S. giogiana Seemen* can root in the area where is near to the water's edge. In contrast, *R. pseudoacacia L.* roots in the area where is far from the water's edge, because the risk that own fall down of a flood decrease.

Key Words : foresting, *Salix giogiana Seemen*, *Robinia pseudoacacia L.*, *Albizia julibrissin Durazz*, below and above ground biomass, tree diameter, allometric relationship

1. はじめに

近年の河川改修やダムによる洪水調節等によって、河道の安定性が増し、治水安全度は目覚しく向上した。その一方で、洪水の攪乱規模や頻度が低下し、河道内の砂州において木本類が生い茂り、樹林化が進行している事例が日本各地で報告されている。

樹林化は、洪水時に流下能力阻害による水面上昇、流木化による治水安全度の低下が危惧されるとともに、生態学的には、洪水による攪乱、植生の破壊・回復の繰り返して成立している、本来の砂州の生態系が消失することが懸念される。

こうした背景から、河川管理の面からも樹林化に関する研究は盛んになりつつあるが、砂州の樹林化の進行過程や、砂州内の樹木の生長に関する知見が十分に得られているとは言えない。特に、樹木の地下部まで含めた研究例は皆無に近いのが現状である。地下部は、土壌からの養分や水分などの吸収、地上部の支持、植物体の維持に必要な生産物質の貯蔵など、樹木において非

常に重要な役割を果たしており、樹林化の研究では地下部まで含めた生長特性の把握が極めて重要となる。

そこで本研究では、樹林化が進行している砂州において、地下部まで含めた樹木の生長特性の違いを把握し、その生長戦略と樹林化進行の関係について、現地調査を踏まえて実証的に考察を行ったものである。

2. 現地調査

(1) 調査地点

現地調査は埼玉県熊谷市付近を流れる荒川中流域に位置する熊谷大橋上流の樹林化が進行中と考えられる砂州内で行った。

この砂州では水際部の礫が多い場所にカワヤナギ (*Salix gilgiana Seemen*) が、水際部から離れた比較的地盤の高い砂の多い場所にニセアカシア (*Robinia pseudoacacia L.*) が優占しており、ネムノキ (*Albizia julibrissin Durazz*) はカワヤナギ群落とニセアカシア群落に混在するように生息していた (図-1)。

(2) 調査方法

a) 樹木伐採調査

本調査では、砂州内で優占していたカワヤナギ6本、ニセアカシア15本、およびネムノキ30本をサンプルとした。サンプルとした樹木は、幹の直径（胸高：地上から1.3mの高さ、膝高：地上から0.5mの高さ）、樹高を測定後、チェーンソーとノコギリを用いて、地上部付近で切り倒した。切り倒した地上部は、現地にて葉、枝、幹に分類し、実験室に持ち帰った後、各部位の乾燥重量を測定しバイオマスとした。

一方、地下部は地上部を伐採した樹木のうち、カワヤナギ6本、ニセアカシア11本、およびネムノキ13本について、スコップとツルハシを用いて可能な限り地下部を掘り起こし、根の深さおよび根の広がり（地上部の幹を中心とした推定半径）を測定後（図-2）、実験室に持ち帰った後、乾燥重量を測定してバイオマスとした。

さらに、樹高の胸高相当の幹を輪切りにし、年輪を読み取ることで樹齢を推定した。

なお、乾燥重量は、事前に各部位の湿潤重量を測定しておき、そのうちの一部を試料として切り出し、85℃に設定した乾燥炉で定量状態になるまで乾燥させ乾燥重量を測定した。この試料の乾燥前の湿潤重量と乾燥重量の差分と乾燥前に測定した各部位の湿潤重量から、各部位の乾燥重量を算定した。

b) 河床材料調査

樹木伐採を実施した地点について、表層、底層（根の張り出している最深部）および、中層（表層と底層の中間層）の土砂を採取し、実験室へ持ち帰った後、ふるい分け試験により粒径分布を求めた。

c) 代表断面の比高差の測定

図-2に示すように砂州内で最も地盤高が高い地点を通り、本流と概ね垂直になるように砂州の代表断面を設定後、水面と地盤高の差を比高差と定義し、本流の水際部を始点として横断方向に比高差を測定した。また、サンプルとした樹木（地上部伐採分のみ）のある地盤と水面との比高差についても測定し、比高の違いによる樹木の分布を把握した。なお、水面は2007年1月31日の水位を基準とした。

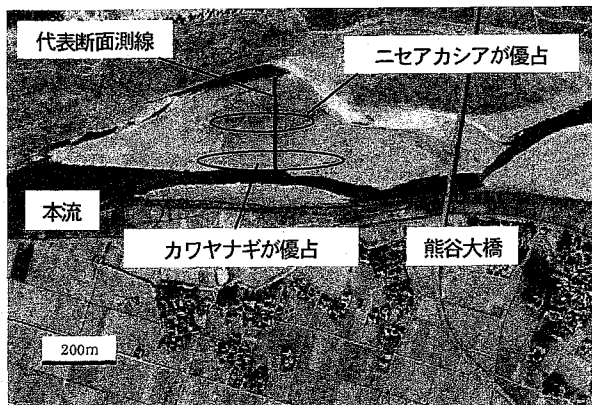


図-1 調査位置図

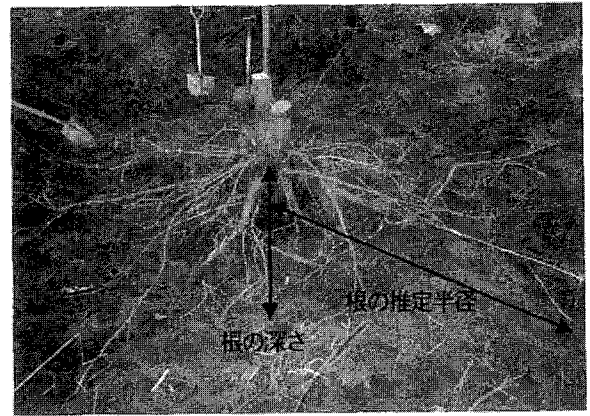


図-2 掘り出した地下部

3. 結果

(1) 分布特性

a) 河床材料と樹種の違い

図-3に各樹種の土壌の1mm以下の粒径割合を示す。

1mm以下の粒径割合は、表層ではニセアカシア、ネムノキが70～75%程度あり、カワヤナギは50%程度であった。中層では、ネムノキ、カワヤナギが30～35%程度であり、ニセアカシアは70%程度であった。底層ではネムノキが40%程度、ニセアカシアが55%程度、カワヤナギが70%程度であった。

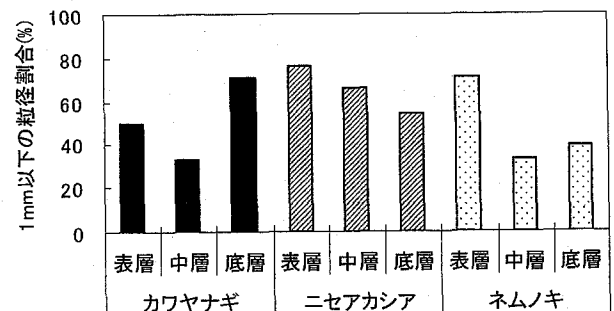


図-3 1mm以下の粒径割合

b) 樹種ごとの根の生長

図-4に各樹種の根の深さと根の広がり具合（推定半径）をプロットしたものを示す。

カワヤナギの根は、水平方向よりも深さ方向に広がっていた。一方、ニセアカシアの根は、深さ方向よりも水平方向に広がっていた。また、ネムノキの根は、深さ方向、水平方向ともに、カワヤナギとニセアカシアほど広がっていなかった。

ここで、前述の河床材料の粒径割合に着目すると、ニセアカシアは表層および中層土砂が1mm以下の砂分が多いため、水平方向に大きく根を広げたが、カワヤナギとネムノキは中層土砂の砂分が減少するため、水平方向には大きく広がらなかったと考えられる。

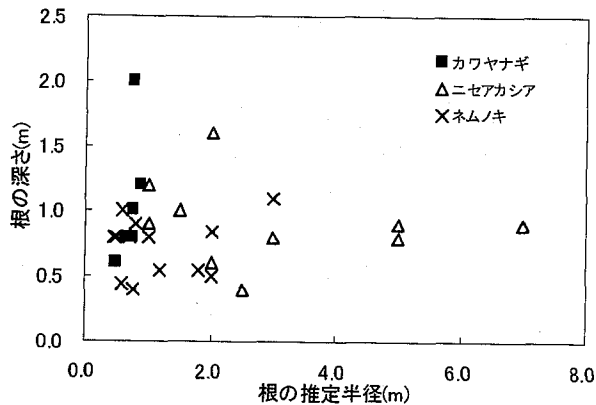


図-4 根の深さと根の広がり

c) 比高差から見た分布特性

図-5に砂州の代表断面の横断方向に比高差を測定したものに伐採したサンプル樹木の位置（上下流方向のずれは多少ある）をプロットしたものを示す。また、図-6に比高差と樹木の全バイオマス（樹木の大きさ）をプロットしたものを示す。カワヤナギは概ね150cm以下の比高差の小さい水際部に主に分布していた。一方、ニセアカシアは概ね200cm以上の比高差の大きい場所に主に分布していた。また、ネムノキは、比高差によらずカワヤナギ、ニセアカシアのいずれが生息する場所にも分布していた。なお、いずれの樹種とも全バイオマス（樹木の大きさ）と比高差に関連は見られなかった。

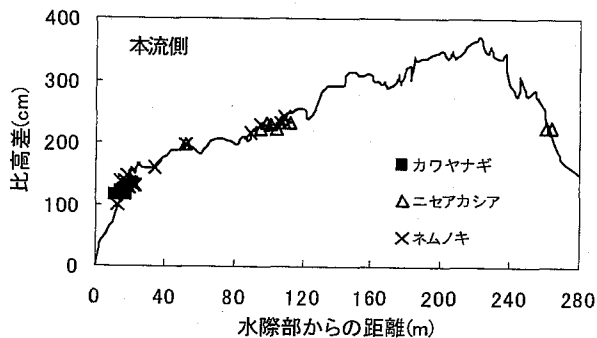


図-5 横断方向の樹木の分布

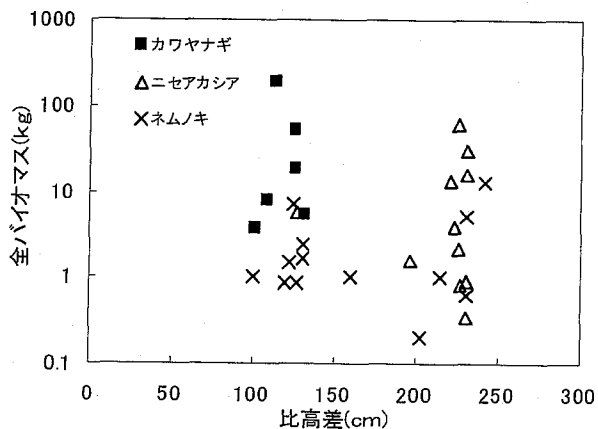


図-6 比高差と樹木の大きさ

(2) 生長特性

a) 樹齢と全バイオマス

図-7に各樹種の樹齢と全バイオマスの関係を示す。

全バイオマスは、いずれの樹種とも樹齢とともに増加している。また、樹齢6年までは樹種による全バイオマスに大きな差はみられていないが、樹齢6年を過ぎると、樹種による差が顕著となり、特にカワヤナギは、ニセアカシアおよびネムノキと比較して、樹齢を重ねるごとに非常に大きく生長している。

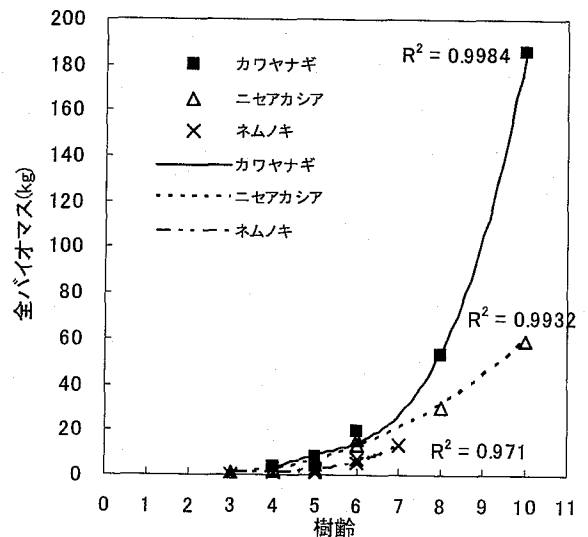


図-7 樹齢と全バイオマス

b) 膝高直径とバイオマスの関係

胸高直径とバイオマスには、アロメトリー関数と呼ばれる関係があり^{1), 2), 3)}、この関係は以下の式で示される。

$$y = bx^{\kappa} \quad (1a)$$

ここで、 y はバイオマス、 x は胸高直径または膝高直径、 b および κ はアロメトリー定数である。

なお、ここでは樹高が1.3m未満の樹木を含んでいるため、膝高直径との関係として示すものとした。

また、図-8に示すように、地上部分で既に幹が複数に分かれている場合には、見かけの膝高直径を定義し、下式のように、分かれている幹それぞれの膝高直径の二乗の和から、見かけの膝高直径を求めるものとした。

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 \quad (1b)$$

ここで、 d は見かけの直径、 $d_1, d_2, \dots, d_n$ は実在する n 本の幹の直径を示す。

図-9に膝高直径と全バイオマスの関係を示す。

これによると樹種に係らず、膝高直径と全バイオマスはアロメトリー関数で示された。また、表-1に示すように各樹種の部位のバイオマスに対しても、膝高直径を変数とするアロメトリー関数で示された¹⁾。



図-8 枝分かれしている幹

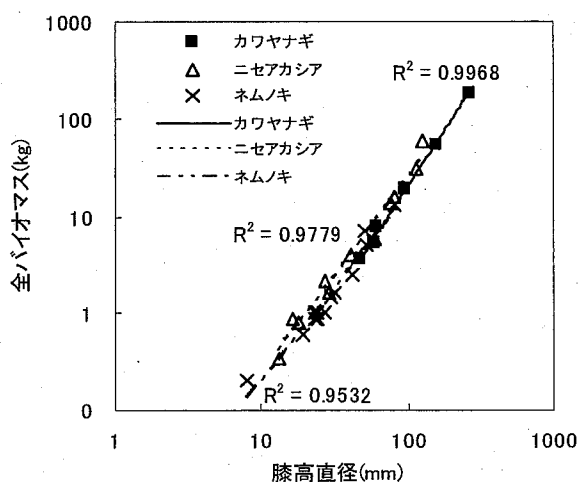


図-9 膝高直径と全バイオマス

表-1 樹種別の各部位に対するアロメトリー関数

樹種	部位	$y = bx^k$		相関係数	サンプル数
		b	k	r	n
カワヤナギ	幹	3.E-04	2.196	0.996	6
	枝	1.E-04	2.242	0.991	6
	葉	7.E-04	1.754	0.988	6
	地上部	8.E-04	2.124	0.996	6
	地下部	7.E-05	2.501	0.996	6
	全体	5.E-04	2.289	0.998	6
ニセアカシア	幹	3.E-04	2.226	0.983	15
	枝	9.E-06	3.013	0.964	15
	葉	1.E-04	2.111	0.992	15
	地上部	4.E-04	2.375	0.990	15
	地下部	4.E-03	1.577	0.958	11
	全体	2.E-03	2.019	0.989	11
ネムノキ	幹	3.E-04	2.245	0.963	30
	枝	1.E-04	2.058	0.908	30
	葉	5.E-04	1.700	0.981	30
	地上部	8.E-04	2.072	0.973	30
	地下部	2.E-03	1.765	0.930	13
	全体	3.E-03	1.905	0.976	13

4. 考察

(1) 地上部と地下部バイオマスの関係

図-10に地上部と地下部バイオマスの関係を示す。

いずれの樹種も地上部バイオマスの増加に伴い、地下部バイオマスを増加させている。

ここで、地下部バイオマスの増加度合いとして、図-10における地上部バイオマスと地下部バイオマスの相関関数の指数に着目すると、カワヤナギは1より大きいため、地上部に対して地下部を生長させているが、ニセアカシア、ネムノキは1より小さいため、カワヤナギとは逆に、地下部に対し地上部を生長させている。

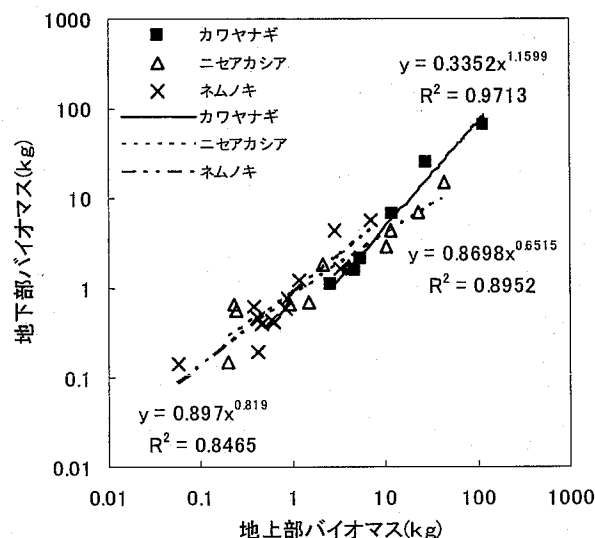


図-10 地上部と地下部のバイオマスの関係

今回の調査では、すべてのカワヤナギのサンプルについて、地下部の掘り出しでは、図-11に示すように、過去の出水で倒伏後に埋没したと考えられる幹が確認された。この幹には、地上に出ている幹と繋がっていると同時に、多数の不定根、萌芽が見られ、図-8で示したような地上部で枝分かれした細い幹が複数伸びているものも確認された。このため、この幹は埋没後も生長を続けていると考えられたため、その生長状況を確認した。

図-12に膝高直径と埋没した幹のバイオマスの関係を、図-13に樹齢と埋没した幹のバイオマスの関係を示す。

図-12より埋没した幹のバイオマスは、膝高直径を変数とするアロメトリー関数で示され、また、図-13の樹齢との関係では、樹齢の増加により埋没した幹のバイオマスも増加している。

埋没過程については図-3より、カワヤナギの底層の土砂は砂分が多いため、カワヤナギがこの砂州に侵入した段階では砂分が卓越する土壌であった。しかし、ある出水で倒伏し、その後の出水で繰り返し冠水するうちに、比較的礫混じりの土砂の中に幹は埋没したものと考えられる。これは、水際部であるため出水時には粒径が比較

的大きい礫混じりの土砂が堆積しやすいためであり、図-3のカワヤナギの中層部の河床材料の粒径割合からも推察される。

一方、この埋没した幹は枯死することなく生長を続けることが可能であったため、これが地上部に出ている現在の幹として生長しているものと考えられる。さらに、埋没した幹には不定根、萌芽が見られたことから、これらが生長し地上部に出てくることで、新たなカワヤナギ群落が拡大するものと考えられる。



図-11 埋没していた幹

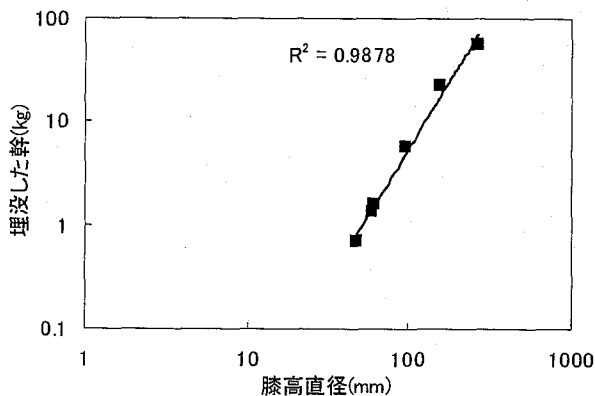


図-12 膝高直径と埋没した幹のバイオマス

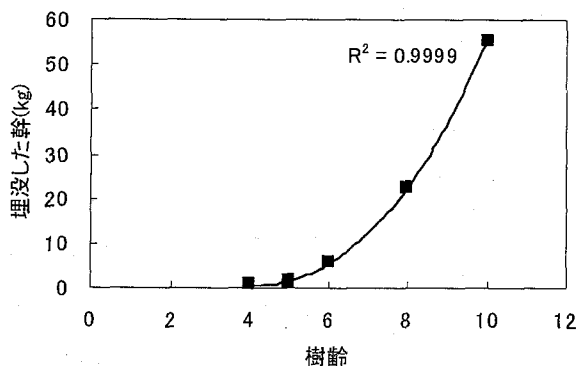


図-13 樹齢と埋没した幹のバイオマス

(2) 地上部と地下部のバイオマス比と樹齢の関係

図-14にそれぞれの樹種に対する地上部と地下部のバイオマス比と樹齢の関係を示す。

カワヤナギは樹齢を重ねるにつれ、地上部に比べ地下部のバイオマスを生長させる一方、ニセアカシアは樹齢を重ねるにつれ、地下部に比べ地上部のバイオマスを生長させていることが分かる。しかし、ネムノキについては、地上部と地下部のバイオマス比と樹齢の関数に相関が見られなかった。この原因として、図-5および図-6で示したように、ネムノキは比高差によらず、カワヤナギが優占する場所、ニセアカシアが優占する場所に分布していることから、分布する場所によって、地上部と地下部の生長を変化させていることが考えられた。

なお、土壌条件によって、植物の地下部と地上部の生長が変化することについては、著者らは、当該砂州においてツルヨシ (*Phragmites japonica*) の生長特性で明らかにしている⁹⁾。

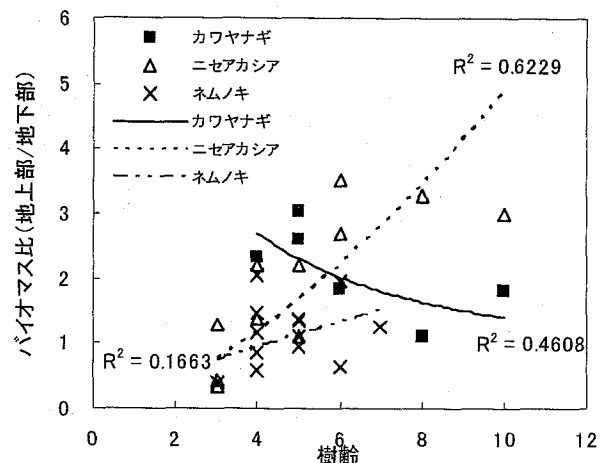


図-14 樹齢と地上部と地下部のバイオマス比

(3) 比高差による地下部の形態変化

上述のとおり、ネムノキは比高差に応じて地上部と地下部の生長を変化させていると考えられるため、ここでは、伐採したネムノキ13本をカワヤナギが優占するエリアである比高差が150cmより小さいネムノキ7本、ニセアカシアが優占するエリアである比高差が200cmより大きい場所のネムノキ5本に分類して、地上部と地下部のバイオマスの関係、および地上部と地下部のバイオマス比と樹齢の関係を再検証した。

図-15に地上部と地下部のバイオマスの関係を、図-16に地上部と地下部のバイオマス比と樹齢の関係を示す。

図-15より、比高差が150cmより小さい場所に分布するネムノキは、地上部バイオマスと地下部バイオマスの相関関数の指数が1より大きいいため、地上部に対し地下部を生長させている。一方、比高差が200cmより大きい場所に分布するネムノキは、相関関数の指数が1より小さいことから、地下部に対し地上部を生長させている。

また、図-16より、比高差が150cmより小さいネムノ

キは樹齢を重ねるとともに、地上部に比べ地下部のバイオマスを生長させる一方、比高差が200cmより大きいネムノキは樹齢を重ねるにつれ、地下部に比べ地上部のバイオマスを生長させている傾向が見られる。

このネムノキの比高差による地上部と地下部の生長の変化は、図-10および図-14で示したように、比高差が小さい場合はカワヤナギと同様の傾向であり、比高差が大きい場合はニセアカシアと同様の傾向となっている。

以上よりネムノキは、カワヤナギのように出水による倒伏の影響を受けやすい場所に侵入した場合には、地上部よりも地下部を生長させ、ニセアカシアのように出水の影響を受けにくい場所に侵入した場合には、地下部よりも地上部を生長させる形態的变化があるものと考えられる。

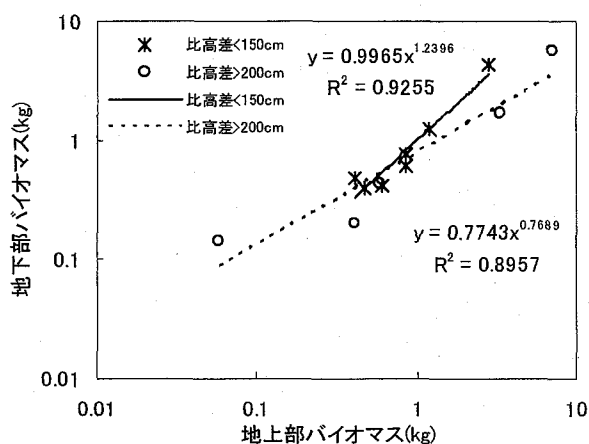


図-15 ネムノキの比高差の違いによる地上部と地下部のバイオマスの関係

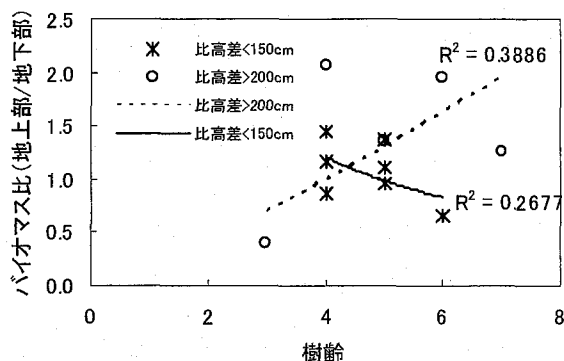


図-16 ネムノキの比高差の違いによる樹齢と地上部と地下部のバイオマス比

5. 結論

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 水際部の比高差が小さい場所に根付くカワヤナギと、比高差が大きい場所に根付くニセアカシアには、根の張

り方に違いがあり、カワヤナギは比較的狭い範囲に深く根を張り地下部を生長させ、ニセアカシアは広く浅く根を張り地下部を生長させる。これは根を張る深さ方向の河床材料と関係がある。

(2) 樹種に関らず、すべての部位のバイオマスは、膝高直径を変数とするアロメトリー関数で表現することが可能である。

(3) カワヤナギは樹齢6年程度を過ぎると急激にバイオマスを増加させ、地下部については、出水で倒伏後に埋没した幹のバイオマスも樹齢の増加とともに増加する。また、この埋没した幹は枯死することなく生長を続けることが可能であり、これが地上部に出ている現在の幹として生長している。さらに、この埋没した幹から新たに萌芽し、生長することで新たにカワヤナギの群落が拡大する。

(4) ネムノキは、比高差に関らず侵入し、比高差が小さく水際部に侵入した場合は、カワヤナギのように地下部を地上部より大きくして生長する。一方、比高差の大きい場所に侵入した場合は、ニセアカシアのように地上部を地下部より大きくして生長する。

以上から、ニセアカシアのように相対的に地上部バイオマスが大きく、広く浅く根を張るため、出水時の倒伏リスクが高い樹種は、比高差の大きい冠水しにくい場所に侵入し定着する。一方、カワヤナギのように水際部に生息し、出水を受けやすい樹種は、地下部バイオマスを相対的に大きくし、深さ方向に根を張り、出水時の倒伏リスクを軽減するとともに、倒伏した場合でも埋没した幹を生長させ、さらに埋没した幹から萌芽することで群落の維持と拡大を可能にしている。また、ネムノキのように比高差に関らず、侵入可能な樹種はその場所で根付くために有利な形態で生長することで、それぞれの樹種の生長特性に応じた有利な場所で生長することで樹林化は進行することが明らかとなった。

参考文献

- 1) J.E.Ong, W.K.Gong, and C.H.Wong: Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*, Forest Ecology and Management, Vol.188, pp.395-408, 2004.
- 2) J.E.Ong, W.K.Gong, and B.F.Clough: Structure and productivity of a 20-year-old stand of *Rhizophora apiculata* Bl.mangrove forest, Forest Journal of Biogeography, Vol.22, pp.417-424, 1995.
- 3) B.F.Clough and Scott: Allometric Relationships for Estimating Above-Ground Biomass in Six Mangrove Species, Forest Ecology and Management, Vol.27, pp.117-127, 1989.
- 4) 坂本健太郎, 木村皓平, 浅枝隆, 西村達也: 土壌の違いがツルヨシの生長に与える影響と出水時の匍匐茎の役割, 水工学論文集, Vol.51, pp.1243-1248, 2007.

(2007.4.5受付)