

斜面の湛水域における樹木の生理生態的特性に関する研究

1. はじめに
2. 湛水深度の影響
 - 2.1 材料と方法
 - 2.2 結果と考察
 - 2.2.1 成長特性
 - 2.2.2 形態特性
 - 2.2.3 葉数変化と種子生産
3. 湛水時期の影響
 - 3.1 材料と方法
 - 3.2 結果と考察
 - 3.2.1 光合成と蒸散特性
 - 3.2.2 成長特性
4. 総合考察
- 引用文献

岡山大学 農学部 総合農業科学科 坂本圭児・中川明洋
石崎宣彦・吉川 賢

1. はじめに

近年河畔およびダム湖斜面では、その周辺景観との調和、斜面土壤浸食の防止、および生態系保全を目的として湛水斜面の緑化が急務とされている。湛水域の緑化に関しては、河畔域において応用的な面からその技術確立の可能性が提示されている（北村、1995）が、今後も河畔域に限らずさまざまな湛水域における緑化の技術確立が必要とされるであろう。今回の調査研究では、ダム湖斜面の緑化を目標とした。ダム湖斜面では滞水によって湛水条件が形成され、そのため河畔域あるいは河辺域と異なり湛水による酸素欠乏が著しく緑化を困難としている。これらの問題の解決には、生理生態的な観点から緑化樹種のスクリーニングと定着および成長特性の検討を行うことによって緑化手法の提示をすることが不可欠であるが、緑化を成功させる1つの方法として、湿地あるいは滞水条件に自生する種の適用が合理的であると考えられる。

これまでも、さまざまな立地に生育する樹種で湛水条件下における生理生態的反応が実験的に明らかにされている（Frye and Grosse, 1992; Kobayashi et al., 1994）。湛水域の自然植生に関しても生態系の構造、機能、および動態が示され（Penka et al., 1985）、湿地や沼沢地などの湛水域自然植生を構成する樹種では、湛水条件における不定根の形成や通気組織の発達などによる適応メカニズムが明らかにされている（Kozlowski, 1984; Kozlowski et al., 1991; Yamamoto et al., 1995 a; 1995 b; Kozlowski, 1997）。しかしながら、実際に湛水域に自生する樹種を緑化の現場で適用できるかどうかはまだ不明な部分が多い。対象とするダム湖斜面の立地は水位やその変動などの点で自生地の環境条件とは異なっており、かつ緑化は苗木の植栽によることが多いため、たとえ湛水域に自生する種であっても自生地と同様に定着できるとは限らない。したがって、緑化現場と対応した湛水条件における樹種の生理生態に関する基礎的資料の蓄積が今後も強く求められるだろう。自生地におけるこれらの樹種の生態的特性をもとに、実験的手法によってさまざまな樹種の湛水ストレス耐性とそのメカニズムを明らかにしていくことによって、現場における適用の可否と適用条件を検討する必要がある。

そこで本研究は湛水条件に自生する樹種であるハンノキ (*Alnus japonica* (Thunb.) Steud) とヌマスギ (*Taxodium distichum* (L.) Rich) を対象として実験的にいくつかの湛水条件を設定し、これらの樹種の苗木を用いて生理生態的反応特性を検討することを目的とした。緑化現場に即した条件を設定するために湛水水位と湛水時期による影響を検討することとし、実験的に湛水の水位レベルが異なる条件と、湛水時期が異なる条件を設定し苗木の生理生態的特性を検討した。

2. 滞水深度の影響

2.1 材料と方法

実験材料には、ヌマスギとハンノキの2樹種を用いた。ヌマスギは北アメリカ東南部の湿地および沼沢地に自生する落葉針葉樹種である。ハンノキは日本自生の落葉広葉樹種で、湿地および沼沢地に生育する。実験にはこれらの樹種の苗木を用いた。実験に供したハンノキの苗木は樹高が120 cmから150 cmの範囲にあり、ヌマスギの苗木は樹高が120 cmから130 cmの範囲にあった。

湛水水位レベルの異なる処理区を設定するために、図2・1に示すような階段状の地形を造成した。上部には溜池があり、その溜池の水を流入させ堰き止め滞水状態を設定し、湛水レベルが一定となるように適宜流入水を調節した。この設定により、地下水位が25 cmとなるレベルを処理区1、地下水位が10 cmとなるレベルを処理区2、地上部湛水レベルが5 cmとなるレベルを処理区3、地上部湛水レベルが20 cmとなるレベルを処理区4とした。それらの処理区の平面面積は約85 m²であった。ハンノキの植栽本数を処理区1で13個体、処理区2で13個体、処理区3で14個体、処理区4で15個体とした。ヌマスギの植栽本数を処理区1で13個体、処理区2で15個体、処理区3で18個体、処理区4で18個体とした。植栽は7月に行われ、8月に設定した水位レベルまで水を入れその後その水位レベルを維持した。

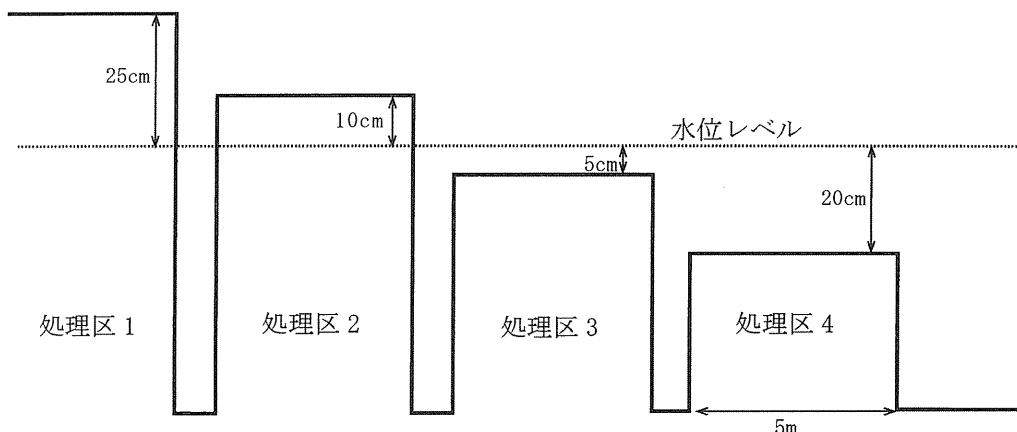


図2・1 実験処理区の設定。実験圃場断面を模式的に示した。

それぞれの苗木の生育状態に関する測定を植栽翌年から開始した。4月から1ヶ月間隔で樹高を測定した。同時に直径を測定したが、直径に関しては地際から5 cm、10 cm、15 cm、および20 cmの高さでそれぞれ測定した。処理区4では地際からの高さが25 cmの部分の直径も測定した。それぞれの苗木で葉量を測定するための枝を決め、その枝の葉量を測定したが、ハンノキでは5月、9月、10月、11月、12月に調べた。ヌマスギでは7月、9月、10月、11月、12月に調べた。ハンノキでは種子を生産する個体がみられたため、種子生産が見られる個体数を測定した。

2.2 結果と考察

2.2.1 成長特性

植栽翌年の1年間の成長量を樹高伸長量と直径増加量から検討した。樹高伸長量ではハンノキが処理区によって有意差がみられたのに対し、ヌマスギでは有意差がみられなかった（表2・1）。ハンノキでは湛水水位レベルが高い処理区ほど樹高伸長量が小さく、処理区4で伸長量がきわめて小さかった。ヌマスギでは処理区間に有意差がみられなかつたが、ハンノキとは逆に湛水水位レベルが高い処理区ほど樹高伸長量が大きく、特に処理区4で伸長量が大きい傾向があつた。直径の増加量では、地際からの高さが異なる部位毎に平均値を比較した。ハンノキでは、地際からの高さにかかわらず処理区による相違には同様な傾向があり、処理区3と処理区4の間に有意な差がみられなかつた以外には処理区間に有意差がみられた（表2・2）。湛水水位レベルの高い処理区ほど増加量が小さく、湛水水位レベルの低い処理区で増加量が大きかった。ヌマスギでも処理区間に有意な差がみられたが、処理区による増加量の大小関係はハンノキと異なつていた（表2・3）。ヌマスギでは処理区4で増加量が顕著に大きかつた。その他の処理区ではそれに比べ増加量が小さく、処理区間でも有意な差がみられなかつた。

表2・1 年間樹高伸長量(cm). 平均値と標準誤差を示した.

	ハンノキ	ヌマスギ
処理区1	111.08±10.26 a	4.31±1.45 a
処理区2	85.57±7.20 b	5.07±0.77 a
処理区3	16.00±2.26 c	3.83±0.95 a
処理区4	3.87±2.66 d	6.89±1.00 a

列で同記号の平均値には5%の危険率で有意差なし

表2・2 ハンノキの年間直径増加量(cm). 平均値と標準誤差を示した.

	地際からの高さ			
	5cm	10cm	15cm	20cm
処理区1	3.677±0.372 a	3.069±0.203 a	2.655±0.155 a	2.355±0.139 a
処理区2	2.438±0.168 b	1.933±0.150 b	1.738±0.143 b	1.565±0.135 b
処理区3	1.138±0.130 c	1.074±0.151 c	0.899±0.096 c	0.725±0.078 c
処理区4	0.213±0.018 c	0.270±0.064 c	0.257±0.058 c	0.237±0.071 c

列で同記号の平均値には5%の危険率で有意差なし

表2・3 ヌマスギの年間直径増加量(cm). 平均値と標準誤差を示した.

	地際からの高さ			
	5cm	10cm	15cm	20cm
処理区1	0.447±0.050 ab	0.352±0.046 b	0.290±0.036 b	0.241±0.030 b
処理区2	0.260±0.037 b	0.216±0.030 b	0.203±0.030 b	0.152±0.029 b
処理区3	0.264±0.030 b	0.248±0.025 b	0.201±0.025 b	0.154±0.019 b
処理区4	0.658±0.072 a	0.617±0.060 a	0.573±0.053 a	0.547±0.052 a

列で同記号の平均値には5%の危険率で有意差なし

1年間の樹高伸長量と直径増加量季節変化の処理区による違いを、それぞれの累積値の変化によって検討した(図2・2)。ハンノキでは処理区1と処理区2で9月から10月まで樹高伸長が継続したのに対して、処理区3と処理区4で7月に樹高伸長が停止した。逆に、処理区1と処理区2で直径成長が10月に停止したのに対し、処理区3と処理区4ではその後も直径成長が継続した。ヌマスギでは季節変化に処理区による違いが明確ではなかった。しかし、処理区4では夏季に樹高成長が急激であり、樹高成長が最も早く停止した。

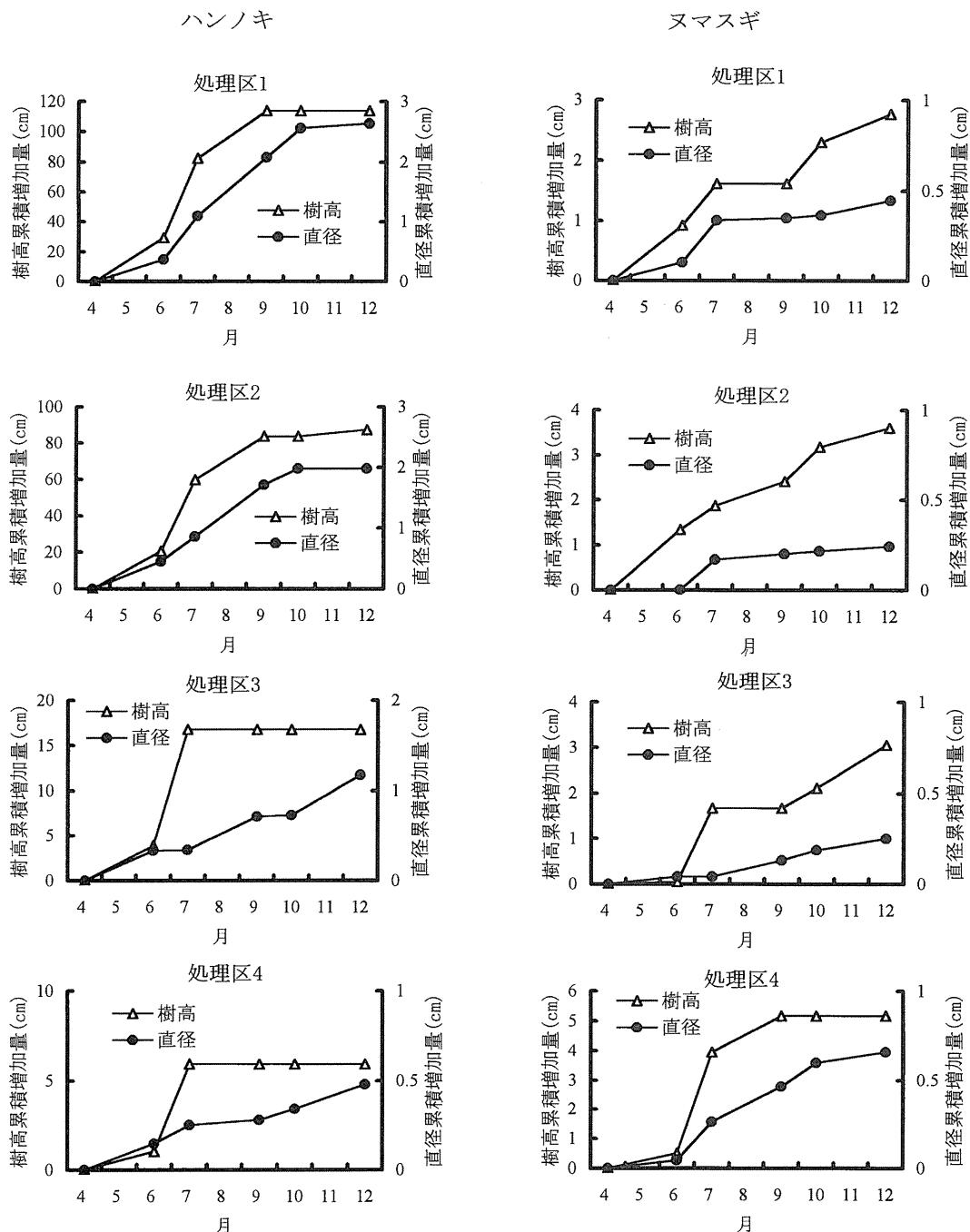


図2・2 樹高および直径成長の季節変化。左欄：ハンノキ、右欄：ヌマスギ。

樹高と直径の増加量累積値の季節変化を示した。

ハンノキもヌマスギも今回設定した湛水条件で生残したが、以上のようにその成長は著しく異なっていた。ハンノキでは湛水条件によって成長が抑制されながら湛水ストレスに耐えると考えられたのに対し、ヌマスギでは湛水の水位レベルが高いほど成長が促進された。

2.2.2 形態特性

湛水による形態の変化をみるために、地際からの高さの異なる部位の直径の変化を検討した（図2・3）。ハンノキでは地上部まで湛水していない処理区1と処理区2で、下部の直径成長量が大きく直径が大きく

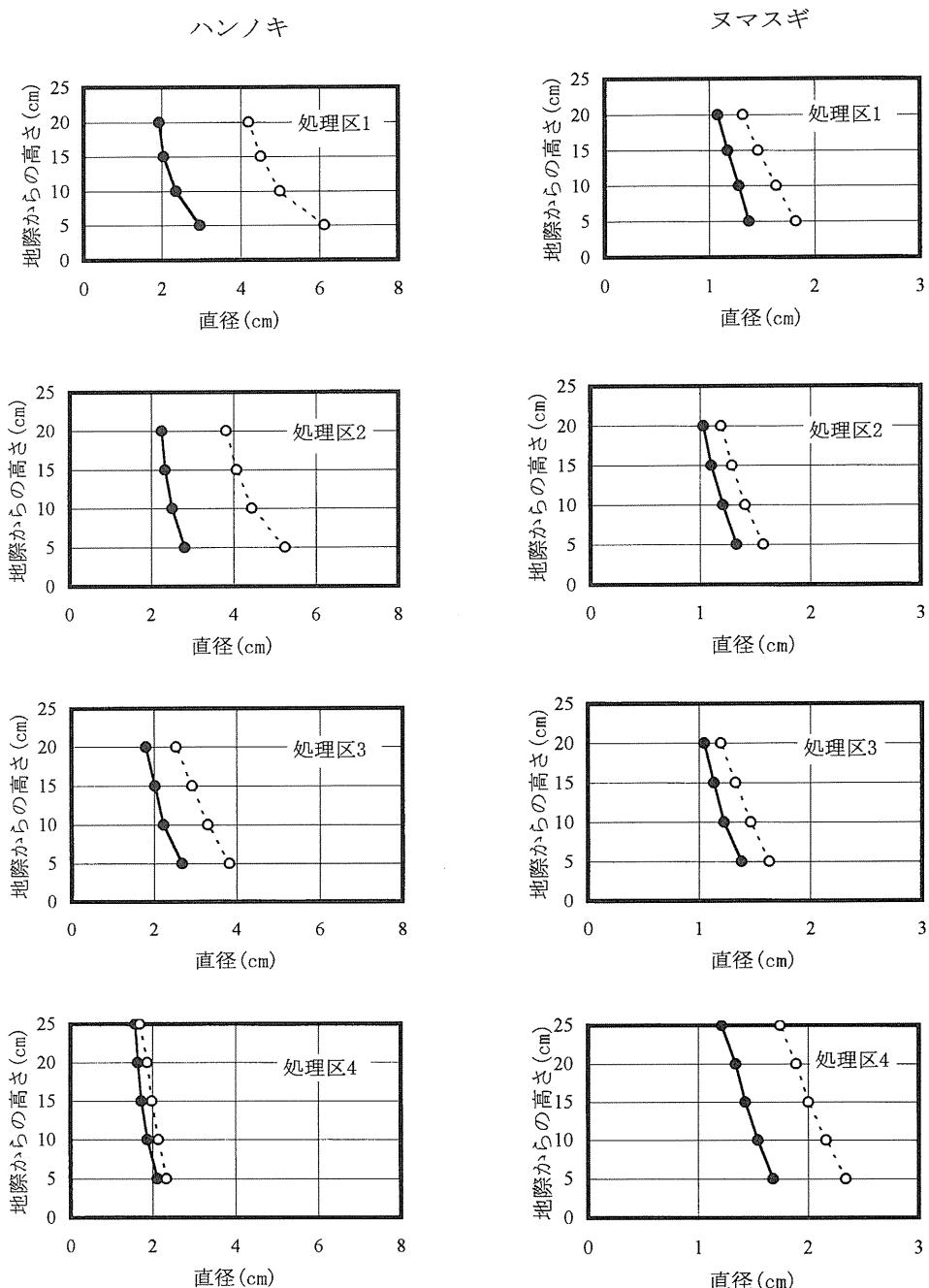


図2・3 地際からの高さによる直径平均値の変化。左欄：ハンノキ、右欄：ヌマスギ。

成長開始前の値を黒塗りの点と実線で示し、成長停止後の値を白抜きの点と実線で示した。

なる傾向があった。それに対して地上部まで湛水条件下にある処理区3と処理区4では部位による直径の差が小さくなる傾向があった。ヌマスギでは湛水水位レベルが最も低い処理区1で下部ほど直径が大きくなる傾向があり、その他の処理区では部位による直径成長量の差が小さかった。処理区1で下部ほど直径が大きくその他の処理区では上部と下部との差が小さい傾向があったが、ハンノキほど著しい差はみられなかった。

これらの傾向をより明瞭に示すため、地際からの高さが5cmの部位の直径成長量に対する各部位の直径成長量の比を算出し処理区で比較した。ハンノキでは、地上部まで湛水していない処理区1と処理区2で地際からの高さが高くなると直径増加量の比が小さく、部位の間で有意な差がみられた（表2・4）。地上部まで湛水している処理区3と処理区4でも地際からの高さが高くなると直径増加量の比が小さい傾向はあったが、処理区4において地際からの高さが25cmの部位に他の部位と有意差がみられた以外では、部位の間に有意な差はみられなかった。また、処理区3と処理区4では、地際からの高さが10cm以上の部位で高さ5cmの部位より直径成長量が大きい傾向がみられた。ヌマスギでは、処理区1、処理区2、および処理区3で地際からの高さが高くなると直径増加量が小さい傾向があったが、処理区1で部位の間に有意な差がみられたのに対して、処理区2では部位の間に有意な差がみられなかった（表2・5）。処理区4では部位の間で有意な差がみられず、地際からの高さが25cmの部位でもほかの部位と有意な差がなかった。

表2・4 ハンノキの5cm部位直径増加量に対する各部位直径増加量の比。平均値と標準誤差を示した。

部位 (地際からの高さ)	処理区1	処理区2	処理区3	処理区4
10cm	0.907±0.078 a	0.794±0.027 a	1.042±0.154 a	1.241±0.245 a
15cm	0.788±0.064 a	0.713±0.029 b	0.977±0.243 a	1.183±0.221 a
20cm	0.695±0.056 b	0.641±0.030 c	0.743±0.138 a	1.075±0.287 a
25cm				0.508±0.091 b

列で同記号の平均値には5%の危険率で有意差なし

表2・5 ヌマスギの5cm部位直径増加量に対する各部位直径増加量の比。平均値と標準誤差を示した。

部位 (地際からの高さ)	処理区1	処理区2	処理区3	処理区4
10cm	0.767±0.053 a	0.857±0.078 a	1.016±0.073 a	0.975±0.040 a
15cm	0.644±0.032 ab	0.796±0.152 a	0.809±0.086 ab	0.920±0.043 a
20cm	0.565±0.055 b	0.614±0.136 a	0.639±0.089 b	0.862±0.035 a
25cm				0.884±0.064 a

列で同記号の平均値には5%の危険率で有意差なし

以上から、湛水条件によって樹幹の形態に変化があることが明らかにされた。特に地上部まで湛水される条件では、ハンノキでもヌマスギでも地際からの高さが高い部位では相対的に直径増加量が大きく、樹幹の形態が相対的に完満になると考えられた。しかし、ハンノキではそのような湛水条件で直径増加量が小さく樹幹の形態が完満になるのに対し、ヌマスギでは湛水条件で直径増加量が大きく樹幹の形態が完満

になった。このように樹種によって樹幹の形態の変化には相違がみられた。

2.2.3 葉数変化と種子生産

ハンノキでは5月、ヌマスギでは7月の葉量をもとにその変化を相対値で示した（図2・4）。これらの樹種では図に示した期間中にも新葉が展開した。したがって、展葉と落葉のフェノロジーとしては大きな問題を残すが、ここでは総量としての葉量の変化のみを検討することとした。ハンノキでは湛水水位レベルの高い処理区でより早く葉量が減少し、その減少量も多かった。逆にヌマスギでは湛水水位レベルの高い処理区ほど葉量の減少が遅かった。

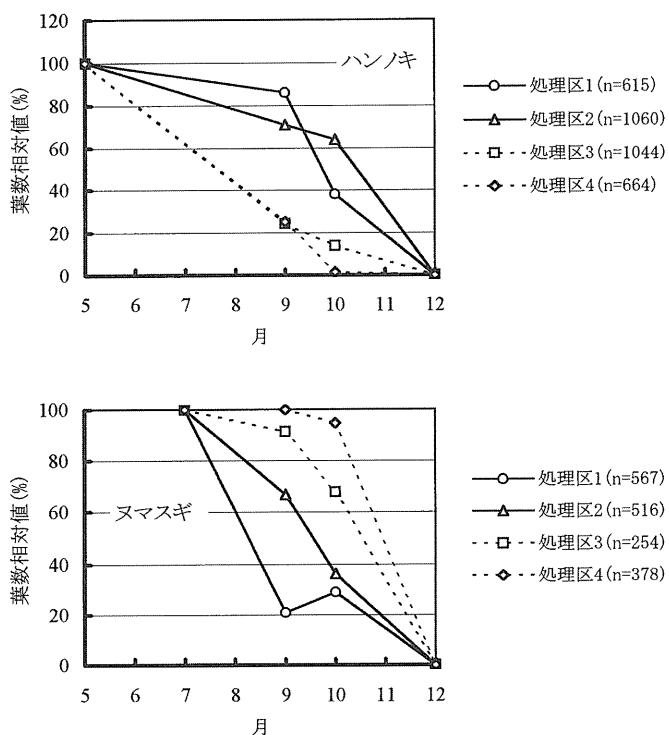


図2・4 葉数の季節変化。ハンノキでは5月の葉数を100としヌマスギでは7月の葉数を100として、その後の葉数の変化を相対値で示した。

ハンノキでは種子生産が観察されたので、種子生産がみられた個体数を処理区ごとにまとめた（表2・6）。処理区1では種子生産がみられなかつたが、他の処理区では種子生産がみられ、湛水水位レベルの高い条件にある個体ほど種子生産を行う個体が多かつた。湛水条件が環境ストレスとしてはたらき、そのため種子生産が早くなつた可能性がある。

表2・6 種子生産がみられたハンノキの個体数とその割合。

	種子生産個体数	種子生産個体の割合(%)
処理区1	0	0.00
処理区2	1	7.69
処理区3	5	35.71
処理区4	7	46.67

3. 湿水時期の影響

3.1 材料と方法

ヌマスギの苗木を実験に供した。またヌマスギと比較するためにケヤキ (*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino) の苗木を実験に用いた。苗木のサイズでは、ヌマスギの樹高が 70 cm から 80 cm、ケヤキの樹高が 60 cm から 80 cm であった。これらの樹種の苗木を口径 14 cm、深さ 18 cm のポットに移植し、1 ヶ月養生した後に実験に供した。培土にはマサ土を用いた。

湛水条件の設定ために、深さ 30 cm、縦と横幅がそれぞれ 100 cm と 55 cm の大型プラスティック製コンテナを用い、その中に水道水を満たした。その湛水水位はポット苗の地際とした。本実験では湛水時期の異なる処理区を設定するため、5 月 25 日、7 月 19 日、9 月 1 日にポット苗を湛水条件に置き、それぞれ 5 月湛水区、7 月湛水区、9 月湛水区とした。対照区として湛水を行わないポット苗を用意し、そのポット苗には土壤が湿潤状態にあるように適宜灌水した。それぞれの処理区では苗木を 5 個体用意し、5 回繰り返しとした。成長が停止したことを確認できた 12 月 10 日まで処理を継続した。コンテナの水は 2 週間から 4 週間間隔で交換した。

それぞれの処理区では個葉レベルで光合成速度と蒸散速度を測定した。その測定では光強度を変化させ、その時の光合成速度と蒸散速度を光合成蒸散測定装置 LI-6400 (LI-COR 社製) によって測定し、光-光合成曲線を作成した。光量子量として、0、15、50、75、100、300、500、800、1200、2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の人工光を照射した。チャンバー内の温度を 30 °C、二酸化炭素濃度を 350 ppm に設定した。この測定は処理開始前と、処理開始後にはほぼ 1 週間間隔で実施した。ただし、対照区の個体では 1 個体のみを対象として、湛水処理時期と関係なく 1 ヶ月に 1 度の割合で測定した。測定を行った日には午前 10 時から午後 2 時までの間で測定を終えるようにした。得られた光量子量と光合成速度の関係を光-光合成曲線の理論式に回帰し、光飽和点における光合成速度 Pgmax と補償点における光合成速度の傾き（以下傾きという）を求めた。その他に、地際の直径を成長が始まる前と成長停止後に測定した。また、成長停止後、実験に供した苗木の地上部乾重、地下部乾重を測定した。

3.2 結果と考察

3.2.1 光合成と蒸散特性

それぞれの処理区における Pgmax と補償点における傾きの変化を検討した（図 3・1）。ヌマスギでは、5 月湛水区において湛水以前と直後で Pgmax と補償点における傾きに変化が少なかった。7 月湛水区では、湛水以前に比べ湛水直後に傾きにやや減少傾向がみられたが、Pgmax は減少しなかった。9 月湛水区では湛水以前に比べ湛水直後に Pgmax と傾きが減少したが、減少した後に再び増加する傾向もみられた。また、対照区の季節変化を考慮すれば、9 月湛水区における Pgmax と補償点における傾きの減少は湛水処理によ

るものではないと考えられる。ケヤキでは、いずれの湛水時期にもPgmaxと補償点における傾きが湛水直後に著しく減少した。ケヤキでは、すべての処理区で湛水後5週間から6週間の間に苗木が枯死するか、苗木の葉がすべて落葉し測定不能となった。

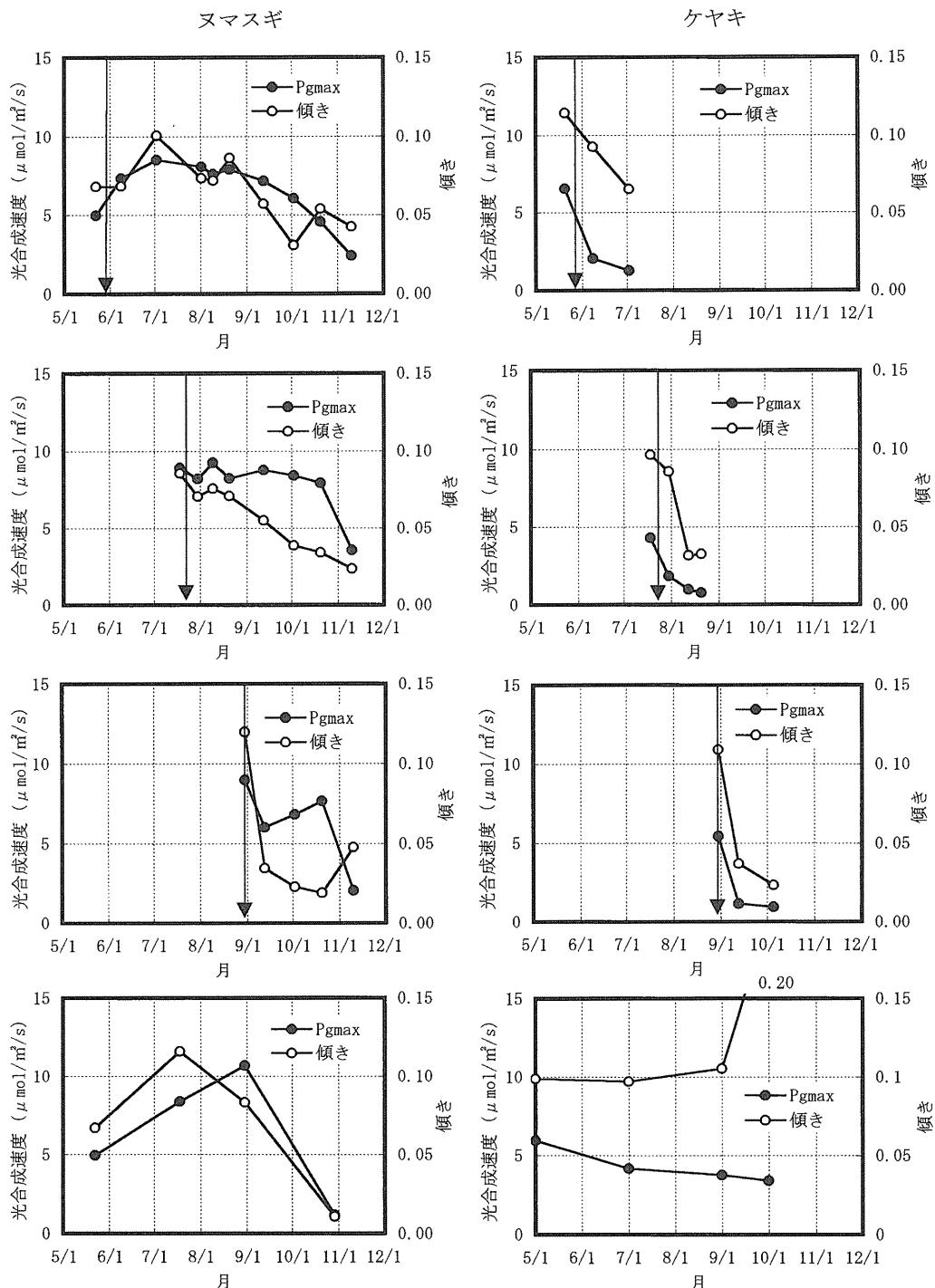


図3・1 光一光合成曲線における光飽和点の光合成速度と補償点における傾きの変化。
左欄：ヌマスギ、右欄：ケヤキ。図中の矢印は湛水処理を開始した時期を示す。

それぞれの処理区における蒸散速度の相違を検討するため、光飽和に達したと考えられる光量子量 $2000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ における蒸散速度の変化を処理区で比較検討した（図3・2）。ヌマスギでは5月湛水区と7月湛水区において湛水後蒸散速度が増加する傾向がみられた。9月湛水区でもいったん湛水処理後蒸散速度が減少したが、その後再び増加した。ケヤキではすべての処理区で湛水処理後極端に蒸散速度が減少した。湛水条件によって根系部分は酸素欠乏状態となりそのため吸水阻害が生じる。したがって、湛水ストレスは生理的な乾燥ストレスと考えることができる。そのためケヤキでは極端に蒸散速度が減少したものと考えられる。それに反して、ヌマスギではこのような生理的乾燥ストレスに耐性があるものと考えられた。

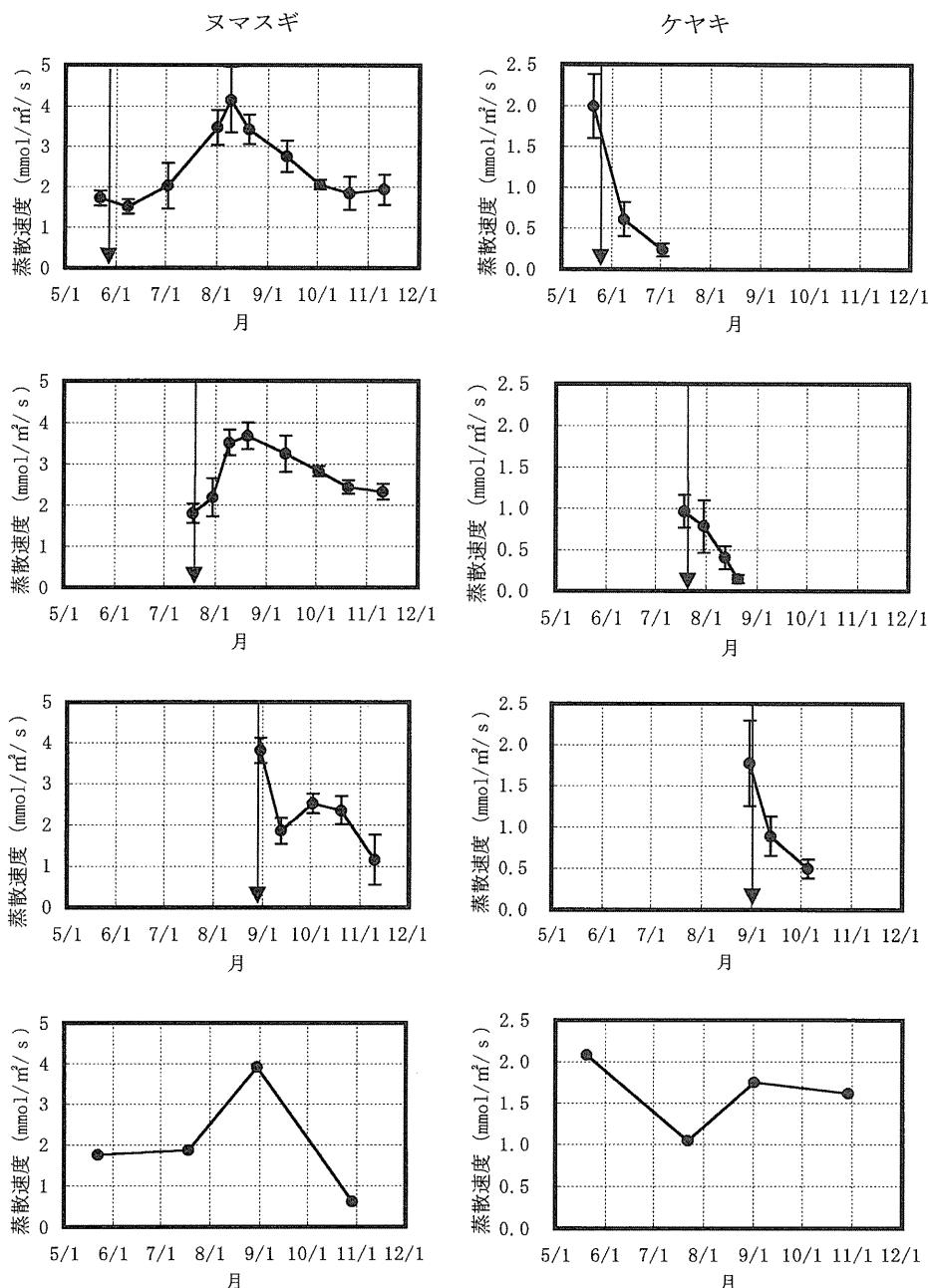


図3・2 光一光合成曲線の光飽和点における蒸散速度の変化。左欄：ヌマスギ、右欄：ケヤキ。図中の矢印は湛水処理を開始した時期を示す。

3.2.2 成長特性

ヌマスギの直径増加量、および地上部と地下部の乾重の湛水処理による相違を検討した（表3・1）。直径増加量では5月湛水区と7月湛水区が大きく、そのような成長季節に湛水した場合には湛水しない場合に比べても直径がより増加することが明らかになった。地上部乾重には処理間で有意な差がみられなかつたが、5月湛水区でやや大きく7月湛水区で小さかった。地下部乾重では7月湛水区で小さく、対照区と9月湛水区で大きかった。T/R比は5月湛水区と7月湛水区で高かつた。

表3・1 ヌマスギの年間直径増加量、地上部乾重、地下部乾重、およびT/R比。

	直径増加量(cm)	地上部乾重(g)	地下部乾重(g)	T/R比
5月湛水区	0.53±0.04 a	18.89±3.92 a	10.41±2.30 ab	1.85±0.13 a
7月湛水区	0.51±0.01 a	10.75±0.68 a	6.41±0.78 a	1.83±0.16 a
9月湛水区	0.20±0.02 b	12.19±1.14 a	10.05±1.12 b	1.25±0.11 b
対照区	0.13±0.02 b	13.52±1.11 a	12.55±0.57 b	1.09±0.10 b

同記号の平均値には危険率5%で有意差なし。

成長季節に湛水した個体で直径増加量が大きく、湛水処理が肥大成長量の増加を誘導していると考えられる。成長季節に湛水した個体のほうが対照区に比べT/R比が大きかったが、成長季節に湛水した個体では地下部より地上部の成長を優先させていると考えられる。湛水条件によって成長が阻害されず地上部の成長が促進されるものと考えられるが、5月湛水区ではT/R比だけでなく地上部乾重自体も対照区より大きかったことは興味深い。ヌマスギではむしろ湛水条件が成長に有利にはたらいているのかもしれない。

4. 総合考察

ヌマスギとハンノキは湿地あるいは沼澤地に生育する樹種であり、このような立地に生育する樹種には、湛水条件に対してさまざまな生理生態的反応特性と成長特性をもち適応していることが知られている (Kozlowski, 1984; 1997)。その重要な適応の1つは不定根を発達させることであり、不定根は通気組織の形成によって酸素吸収を補償し、水分吸収を補償する (Hook, 1984; Yamamoto et al., 1995a; 1995b)。また、熱浸透ガス輸送システムによる樹皮の皮目など地上部からの酸素吸収を行い、根系へ酸素を供給することによって酸素欠乏を補償する (Grosse, et al., 1993)。本研究ではこれらを定量化していないが、不定根はヌマスギでもハンノキでも観察された。ヌマスギやハンノキが実験を通じて湛水条件でも生残し十分な成長を示したことは、これらのメカニズムによるものと考えられる。ヌマスギでは湛水条件によって蒸散速度が低下することではなく、酸素欠乏状態でも吸水に阻害が生じていないと考えられた。

湛水によって肥大成長は変化した。湛水に対する耐性がある種でも湛水によって肥大成長が抑制される種もあるが (Kozlowski, 1984)、樹皮の肥厚、細胞間隙の肥厚によって幹が肥大する種もみられる (Yamamoto and Kozlowski, 1987a; 1987b)。また、繊維組織を中心とした木部細胞の拡大による幹の肥大もみられる (Yamamoto et al., 1995a; 1995b)。本研究ではヌマスギで湛水によって幹の肥大がみられた。組織解剖

学的な検討を行っていないが、樹皮や細胞間隙の肥厚、木部細胞の拡大によるものと考えられ、そのようなことから幹の形態が完満になったものと考えられる。ハンノキでは湛水によって肥大成長が抑制されたが、相対的には完満な幹の形態がみられた。成長を抑制されながら部分的には器官の肥厚があったのかもしれない。

以上のように本研究で供したヌマスギとハンノキは湛水条件で生残したが、その成長には顕著な相違がみられた。湛水レベルを変えた実験において、ヌマスギで湛水条件によって成長が抑制されず湛水水位レベルが高いほど成長量が大きかった。ヌマスギでは湛水時期が異なった場合でも、光合成あるいは蒸散速度の低下はみられず、湛水によってT/R比が高くなる傾向があった。ヌマスギは湛水条件によって成長が抑制されず、湛水条件で生育できるものと考えられる。それに対して、ハンノキでは逆に湛水水位レベルが高いほど成長量が小さく、ハンノキは湛水水位が高い条件では成長が抑制されながら湛水条件に耐えて生残すると考えられる。ハンノキで早期に種子が生産されたが、湛水条件が強い環境ストレスとしてはたらいでいたものと考えられる。このように湛水水位レベルによって、湛水域に生育する種でも成長特性が異なることは興味深い。これらの樹種の湛水条件に対する耐性メカニズムの基礎的な知見となるだけでなく、目的に応じて立地あるいは水位レベルを考慮し樹種選択する場合の基礎となるなど、実際の緑化に適用する場合でも有用な情報となるものと考えられる。

今回の研究のうち異なった湛水水位レベルによる実験は継続されており、今後も長期にわたる湛水条件の影響を追跡調査し、より有用な情報を提供したいと考えている。また、目的とするダム湖湛水斜面の緑化では、湛水ストレスだけでなく、水位の変化によって湛水域が露出することによって生じる相対的な乾燥ストレスも考慮しなければならない。このような湛水と乾燥が繰り返されるような環境条件における樹種の生理生態学的特性も検討しておく必要があるだろう。今後もこれらの点を課題として研究を継続していく予定である。

引用文献

- Frye, J. and Grosse, W (1992) Growth responses to flooding and recovery of deciduous trees. *Z. Naturforsch*, 47 c, 683-689
- Grosse, W. , Schulte, A. and Fujita, H. (1993) Pressurized gas transport in two Japanese alder species in relation to their natural habitats. *Ecol. Res.* 8, 151-158
- Hook, D. D. (1984) Adaptation to flooding with fresh water. In T. T. Kozlowski (ed.) *Flooding and plant growth.*, pp. 165-294, Academic Press, New York.
- 北村泰一(1995)緩勾配水制における水辺環境の復活と造園の技術的可能性. *ランドスケープ研究*, 58, 421-428
- Kobayashi, T., Taga, A. and Okinaka, T. (1994) The effects of flooding on water relations, photosynthesis and growth of four tree species with different site preferences. *J. Jap. Soc. Reveget. Tech.* 20, 150-157
- Kozlowski, T. T. (1984) Responses of woody plants to flooding. In T. T. Kozlowski (ed.) *Flooding and plant growth.*, pp. 129-163, Academic Press, New York.
- Kozlowski, T. T., Kramer, P. J. and Pallardy, S. G. (1991) *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, New York.
- Kozlowski, T. T. (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph No. 1*.
- Penka, M., Vyskot, M., Klímo, E. and Vasicek, F. (1985) *Floodplain forest ecosystem*. Elsvier, Amsterdam.466pp.
- Yamamoto, F. and Kozlowski, T.T. (1987a) Effects of flooding of soil on growth, stem anatomy, and ethylene production of *Cryptomeria Japonica* seedlings. *Scand. J. For. Res.* 2, 45-58
- Yamamoto, F. and Kozlowski, T.T. (1987b) Effects of flooding of soil on growth, stem anatomy, and ethylene production of *Thuja orientalis* seedlings. *IAWA Bull. N.S.* 8, 21-29
- Yamamoto, F., Sakata, T. and Terazawa, K. (1995a) Growth, morphology, stem, anatomy and ethylene production in flooded *Alnus japonica* seedlings. *IAWA Journal*, 16, 47-59
- Yamamoto, F., Sakata, T. and Terazawa, K. (1995b) Physiological, morphological and anatomical responses of *Fraxinus mandshurica* seedlings to flooding. *Tree Physiology*, 15, 713-719