

大面積皆伐地に植栽された苗木の生理特性*1

香山雅純*2 · 前田勇平*3 · 田中 浩*2

香山雅純・前田勇平・田中 浩：大面積皆伐地に植栽された苗木の生理特性 九州森林研究 62：94-97, 2009 熊本県球磨村の大規模皆伐を行った地域にて、2006年3月に植栽されたアカマツ、エゴノキ、エノキ、タブノキ、ヒサカキの光合成速度の測定と、土壌と葉内の養分濃度を分析した。測定は、特にススキの稈高が高い谷部と、ススキの稈高が低い斜面部の個体で行った。谷部では土壌中の養分濃度が高く、エゴノキとエノキは養分を多く吸収し、高い光合成能力を有していた。しかし、土壌中の養分濃度が低かった斜面部では、エゴノキとエノキは光合成速度と葉内の養分濃度が谷部より低かった。一方、アカマツ、タブノキ、ヒサカキは谷部と斜面部で葉内の養分濃度に違いはなく、斜面部の光合成速度は谷部よりも高いか同等だった。

キーワード：伐採跡地、広葉樹造林、光合成特性、養分吸収特性、立地特性

I. はじめに

近年、人工林を大面積に皆伐し、その後には再造林を行っていない放棄地が熊本県内の球磨川沿いに増加している(野田・林, 2003)。特に大規模な造林放棄地として、熊本県球磨郡球磨村の権現山南東部の地域が挙げられる。この地域は2001~2002年にかけて95haの皆伐が実施され(野宮ほか, 2007)、その後、約4年ほど未植栽のまま放置された。熊本県では、この造林放棄地における再植林を2006年3月より開始し、アカマツ、エゴノキ、エノキ、タブノキ、ヒサカキの計5樹種の植栽を実施した。

筆者らは、植栽後1年半が経過した2007年9月に、植栽後の苗木の生育状態を調査した(香山ほか, 2008)。その結果、エゴノキとエノキは成長量が大きく、ススキの稈高が高い地点では特に樹高が高かった。一方、礫が多く、土壌の発達が悪く、ススキの稈高が低い地点では、エゴノキとエノキの樹高は低く、葉を少ししか着けていない個体も多かった。アカマツ、タブノキ、ヒサカキは、前述の2樹種と比較して成長量は小さかった。しかし、ススキの稈高が低く、土壌が発達していない上部の作業道でも順調に成長していた。このことから、植栽された5樹種は、立地環境に対する成長が種ごとに異なると予想された。アカマツは貧栄養環境に生育可能であり、成長特性は古くから解明されてきた(四手井, 1963)。しかし、土壌養分をはじめとした立地環境に対する他の4樹種の成長特性は解明されていない。

一般的に、養分を中心とした環境への応答能力は、光合成特性と養分吸収特性から評価することが可能である。また、成長が早い種(Fast growing species)と遅い種(Slow growing species)では応答能力は異なる(Lambers *et al.*, 1998)。植物の養分吸収特性は、同一地域に植栽しても種間で異なり、成長の早い種は肥沃な立地環境では養分を多く吸収し、養分量に依存した光合成特性を持つ(Kayama *et al.*, 2007)。一方、成長の遅い種は、肥沃な立地環境でも養分を多く吸収しないが、貧栄養環境では葉内の

窒素を光合成器官に多く分配し、結果として光合成窒素利用効率を高める特性を持つ(Kayama *et al.*, 2007)。このことから、植栽された5樹種は異なる養分吸収特性を持つと予想される。また、成長の早い樹種は貧栄養環境において適応できていないと予想される。

本研究は、養分環境の異なる立地に植栽された5樹種の光合成特性と養分吸収特性を比較し、立地ごとの種の適合性を検討することを目的とした。

II. 材料と方法

本研究は、球磨郡球磨村の権現山の南東部の皆伐を行った95haの南西部19haの地域(標高550-650m)を対象とした。この地域では、2006年3月に「水とみどりの森づくり税」を利用して、アカマツ、エゴノキ、エノキ、タブノキ、ヒサカキの苗木各366本が地元の森林組合とボランティアの協力の下で植栽された。5樹種は皆伐に際し造られた作業道と平坦地に、ランダムに植栽された。

植栽から2年が経過した2008年に、ススキの稈高が高い谷部と稈高が低い斜面部のそれぞれ2カ所ずつを調査地として選定して、植栽木の生理特性を測定した。なお、2007年に測定した、本研究での調査地点の5樹種の苗木の健全個体における平均樹高は、谷部のエゴノキ、エノキ、ヒサカキは斜面部の個体と比較して有意に高かった(表-1)。一方、アカマツとタブノキの平均樹高は谷部と斜面部で差がなかった。また、2007年に測定した、谷部と斜面部の各苗木の周囲におけるススキの稈高の平均はそれぞれ198cm, 137cmで有意に異なった($P < 0.001$, t 検定)。

まず、土壌を2008年4月に2カ所の谷部と斜面部からそれぞれ5地点の2cmと15cmの深さから採取した。採取後、土壌pHを測定した(HM-25R, DKK-TOA Co.)後、105℃で24時間乾燥させた。そして、土壌中の炭素と窒素をCNコーダー(MT-600, ヤ

*1 Kayama, M., Maeda, Y. and Tanaka, H.: Physiological characteristics of the saplings planted on the site of large scale clear-cutting.

*2 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

*3 熊本県林業研究指導所 Kumamoto Pref. For. Res. Center, Kumamoto 860-0862

表-1. 調査地にとした2箇所の谷部と斜面部における5樹種の健全個体数と平均樹高(2007年9月)

	谷部		斜面部		t 検定
	樹高 (cm)	個体数	樹高 (cm)	個体数	
アカマツ	98	30	94	29	n.s.
エゴノキ	166	23	111	30	***
エノキ	181	16	83	30	***
タブノキ	90	26	80	35	n.s.
ヒサカキ	84	16	66	34	*

*は、各樹種の谷部と斜面部の値間に有意な相関があることを示す
(* : $P < 0.05$, *** : $P < 0.001$, n.s. : 有意差なし)

ナコ分析工業)を用いて分析した。また、リン濃度に関しては、ブレイ第二法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)で抽出後に、モリブデンブルー法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)にて分光光度計(UV-2500PC, 島津)を用いて分析した。

光合成速度は、苗木の上部に位置する当年葉1枚の光飽和時における光合成速度を、2008年9月22, 23日の10:00~14:00の間に2カ所の谷部と斜面部それぞれ2ヶ所より4個体ずつ測定した。光合成測定には、通気式の携帯光合成測定装置(LI-6400, Li-Cor, USA)を用いた。光合成測定時の光強度は $1800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、気温は 28°C 、 CO_2 濃度は周囲と等しい濃度の370ppmに設定した。測定に使用した葉は、 60°C で4日間乾燥させた。乾燥後、葉の単位面積あたりの乾重量(LMA)を測定した。その後、葉を粉砕した後に、ダイジェスダール(Hach Company, USA)にて硫酸と過酸化水素を使い湿式灰化を行った。そして、窒素はインドフェノール法(植物栄養実験法編集委員会, 1990)、リンはモリブデンブルー法にて分光光度計を用いて分析した。なお、分析値は試料の重量とLMAより、単位葉面積あたりの値に換算した。さらに、光合成速度を葉内窒素濃度で割った、光合成窒素利用率(PNUE, Field and Mooney, 1986)を算出した。

5樹種の光合成速度、葉内窒素・リン濃度、光合成窒素利用率の平均値は、t検定を用いて有意差検定を行い、谷部と斜面部で比較した。図-1, 2, 3, 5における*, **, ***のサインは、それぞれ5%, 1%, および0.1%の範囲で統計的に有意差があることを示している。また、土壤養分分析の平均値は2元配置ANOVAを用いて、立地(谷部と斜面部)、深度(2cmと15cm)、および立地と深度の交互作用の値間の有意差検定を行った。表-2における***のサインは、0.1%の範囲で統計的に有意差があることを示している。さらに、光合成速度は葉内窒素濃度と正の相関を示すため(Field and Mooney, 1986)、葉内窒素濃度に対する光合成速度との関係を単回帰にて分析した。図-4における*, ***のサインは、5%および0.1%の範囲で統計的に有意な相関関係があることを示している。

III. 結果

土壤養分の分析結果から、土壤pHと窒素、リン濃度は斜面部において有意に谷部より低かった(表-2)。炭素濃度は斜面部と谷部に有意な差はなかった。また、土壤深度に対しても有意な差はなかった。

2008年9月における光飽和時における最大光合成速度は谷部の

表-2. 土壤養分分析結果

	pH	C (g kg^{-1})	N (g kg^{-1})	P ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)
谷部 2cm	5.44	44.7	3.88	3.17
斜面部 2cm	4.65	36.6	2.14	0.44
谷部 15cm	5.29	47.0	4.24	2.16
斜面部 15cm	4.64	28.1	1.58	0.34
検定(ANOVA)				
谷部 × 斜面部	***	n.s.	***	***
2cm × 15cm	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

エゴノキとエノキは $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ を超える高い値を示した(図-1)。一方、斜面部のエゴノキとエノキの光合成速度は $11.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ にとどまり、谷部の個体と比較して有意に低かった。アカマツとヒサカキの光合成速度は、逆に斜面部の個体の方が谷部の個体より有意に高かった。タブノキの光合成速度は谷部と斜面部で有意な差はなかった。

葉内窒素濃度とリン濃度はエゴノキとエノキは斜面部で谷部の個体より有意に低かった(図-2, 3)。アカマツ、タブノキ、ヒサカキは谷部と斜面部で有意な濃度差はなかった。

葉内窒素濃度に対する光合成速度との関係を検討した結果、アカマツ、エゴノキ、エノキの光合成速度は葉内窒素濃度と有意な正の相関を示した(図-4)。特にエゴノキ、エノキは高い相関を示し、近似曲線の傾きは大きかった。一方、タブノキとヒサカキの光合成速度は葉内窒素濃度と相関がなかった。PNUEについてはタブノキとヒサカキでは斜面部の個体は谷部の個体より有意に高かった(図-5)。アカマツ、エゴノキ、エノキのPNUEは谷部と斜面部に有意な差はなかった。

IV. 考察

前年の調査結果で(香山ほか, 2008)、谷部において成長の早かったエゴノキとエノキ、成長の遅かったアカマツとタブノキとヒサカキは類似した光合成特性、養分吸収特性を示した(図-1, 2, 3)。2007年の調査結果から、ススキの稈高が低い斜面部では、エゴノキとエノキの樹高は低かった(表-1)。土壤養分分析の結果、ススキの稈高が低い斜面部は窒素やリン濃度が低く(表-2)、貧栄養環境であることが明らかになった。このことから、エゴノキとエノキは貧栄養環境によって成長が抑制されていたと考えられる。また、エゴノキとエノキは養分に依存した光合成特性を持ち、葉内窒素濃度が低いと光合成速度も大きく低下する特徴を持っていた(図-4)。一方、窒素やリン濃度の高い谷部においては、エゴノキとエノキの樹高は高かった。この2樹種は谷部での光合成速度が高いことに加え、落葉樹で比葉面積が高いにもかかわらず、単位葉面積あたりの葉内窒素、リン濃度は高かった(図-1, 2, 3)。このことから、エゴノキとエノキは肥沃な立地環境では多くの養分を吸収し、葉に蓄積することによって高い光合成速度を有し、結果として樹高が高くなったと考えられる。

一方、アカマツ、タブノキ、ヒサカキは、貧栄養環境である斜面部において高い光合成速度を示した(図-1)。そして、斜面部の3樹種の葉内窒素濃度、リン濃度は谷部の個体と変わらない

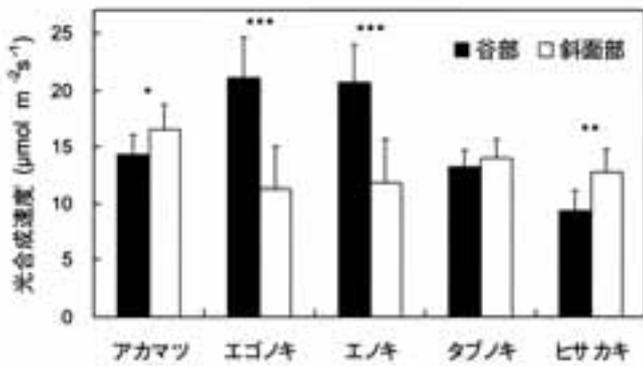


図-1. 植栽木5樹種における光飽和時における光合成速度 (2008年9月, n = 8)

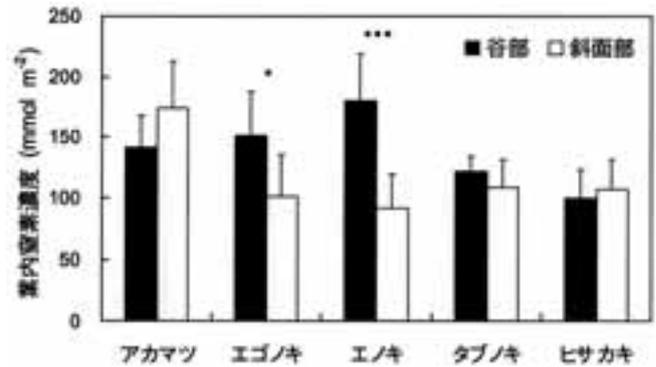


図-2. 植栽木5樹種における葉内窒素濃度 (2008年9月, n = 8)

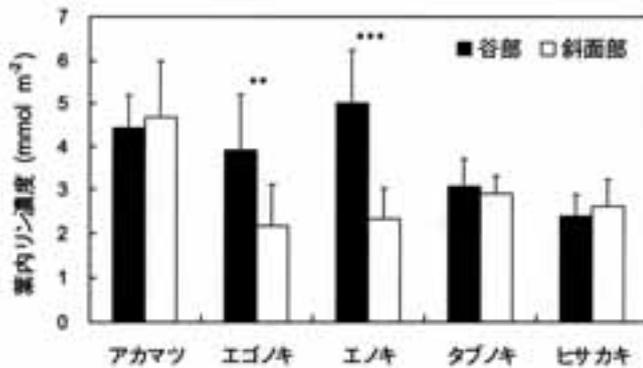


図-3. 植栽木5樹種における葉内リン濃度 (2008年9月, n = 8)

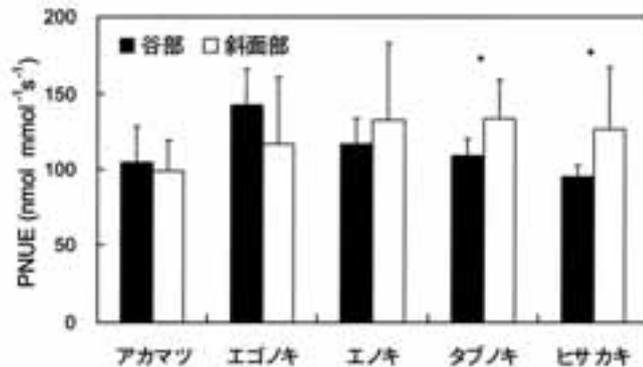


図-5. 植栽木5樹種における光合成窒素利用効率 (PNUE, 2008年9月, n = 8)

濃度であった (図-2, 3)。土壌の養分濃度が低い斜面部の3樹種の葉内養分濃度が、谷部と同程度だった原因の一つとして、菌類との共生関係があげられる。アカマツを含めたマツ科の樹種は外生菌根菌性であり、共生菌の感染率は、貧栄養環境でより高まる (菊地, 1999)。その結果、アカマツは養分の吸収を高められ、斜面部においても順調に成長できたと推察される。一方、タブノキ、ヒサカキは外生菌根菌性ではないので、菌類との共生では説

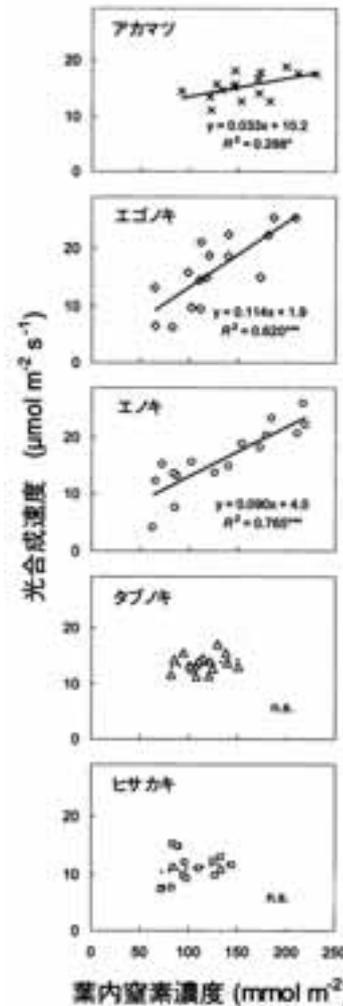


図-4. 植栽木5樹種における光合成速度と葉内窒素濃度との関係 (2008年9月, n = 16)

明できない。一般的に、高山地帯に生育する貧栄養環境に適応した植物は根を発達させており、地下部の現存量の割合が高い (Monson *et al.* 2001)。その結果、葉の窒素濃度は低標高で富栄養環境な環境に生育する種とほぼ変わらない濃度を示す (Monson *et al.* 2001)。このことから、斜面部に生育するタブノキ、ヒサカキは、根を発達させることによって葉内の養分濃度を高め、谷部の個体と同程度の濃度になった可能性がある。

さらに、タブノキとヒサカキは斜面部の個体の方が PNUE が高く (図-5)、窒素を光合成に関わる細胞内器官に多く投資して光合成能力を高められたと推察される。また、タブノキとヒサカキは光合成速度と葉内窒素濃度に相関がなかった。このことから、光合成速度が高い個体は窒素を光合成に関わる細胞内器官により多く投資していたと推察される。一方、アカマツとヒサカキの谷部の個体は有意に光合成速度が低かった (図-1)。この原因として、谷部ではススキの稈高が高く、アカマツとヒサカキの樹高はススキの稈高より低かったことから (表-1)、被圧を受けていたと考えられる。一般的に光の少ない環境下では光飽和時における最大光合成速度が低下することから (Lambers *et al.*, 1998)、谷部のアカマツとヒサカキは光合成速度が低かったと考えられる。

本研究結果より、エゴノキとエノキは肥沃な立地環境では、早期にススキの稈高よりも高く成長できることから、これらの地点に植栽するのが望ましいと考えられる。また、アカマツ、タブノキ、ヒサカキは貧栄養環境でも順調に成長できることから、これらの地点に植栽するのが望ましいと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、球磨村森林組合の方々に調査地の整備をして頂いた。分析に際し、青木菜保子氏と鳩村佳美氏に分析の補助をして頂いた。本研究をまとめるに際し、森林総合研究所九州支所の野宮治人氏、荒木真岳氏、安部哲人氏から貴重な意見を頂いた。ここに感謝の意を表す。本研究は、森林総合研究所

運営交付金プロジェクト (課題番号: 200606) によって実施した。

引用文献

- 土壤環境分析法編集委員会 (1997) 土壤環境分析法. 427pp, 博友社, 東京.
- Field, C. and Mooney, H.A. (1986) The photosynthesis- nitrogen relationship in wild plants. *In* On the economy of plant form and function. Givnish, T.J. (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 25-54.
- Kayama, M., *et al.* (2007) *Tree Physiol.* 27 : 1585-1593.
- 香山雅純ほか (2008) 九州森林研究 61 : 79-82.
- 菊地淳一 (1999) 日本生態学会誌 49 : 133-138.
- Lambers, H. *et al.* (1998) *Plant physiological ecology.* 540pp, Springer-Verlag, Berlin.
- Monson, R.K. *et al.* (2001) *Plant nutrient relations.* *In* Structure and function of an alpine ecosystem. Bowman, W.D. and Seastedt, T.R. (eds.), Oxford University Press, New York, 198-221.
- 野田巖・林雅秀 (2003) 九州森林研究 56 : 36-41.
- 野宮治人ほか (2007) 九州森林研究 60 : 36-41.
- 四手井綱英 (1963) アカマツ林の造成 - 基礎と実際 -. 326pp, 地球出版, 東京.
- 植物栄養実験法編集委員会 (1990) 植物栄養実験法. 488pp, 博友社, 東京.
- (2008年12月6日受付; 2009年1月15日受理)