

E-2 熱帯林生態系における野生生物種の多様性に関する研究

(2) 熱帯樹種の環境適応性機構の多様性に関する研究

		研究代表者	森林総合研究所	森川 靖
農林水産省	林野庁	森林総合研究所		
	森林環境部	植物生態科長	森川 靖	
		環境生理研究室	松本 陽介・重永 英年	
			上村 章	
	生産技術部	植生制御研究室	奥田 史郎	
農林水産省	国際農林水産業研究センター			
	研究第一部		丸山 温・高橋 正通	
			日高 輝展・山口 武夫	

マレーシア国 マレーシア森林研究所 (FRIM, Forest Research Institute of Malaysia)
環境科学部 (Environmental Sciences Division) Son Kheong Yap

平成2～4年度合計予算額 29,827千円

[要旨] 国内のファイトトロンを用いて異なる明るさで *Shorea talura* の苗木を育て、成長、葉の単位葉面積当たりの重さおよび光照射と気孔反応を調べた。マレーシア森林研究所 (FRIM) において、苗畑に生育するフタバガキ科苗木数種 (*Shorea leprosura*, *S. ovalis*, *S. parvifolia*, *Dryobalanopus aromatica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarps heimii*) を用いて、光強度と気孔コンダクタンス (Gw) の関係を検討した。また、熱帯多雨林の主要構成樹種であるフタバガキ科数種 (*Shorea platyclados*, *S. assamica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarps heimii*, *Dryobalanopus aromatica*) の自然条件下で生育する成木と苗畑に成育する苗木の葉の水分特性を P-V 法によって調べ比較した。さらに、*H. odorata* と *N. heimii* について、温度-光合成関係を検討した。

その結果、*Shorea talura* の苗木の上長成長のピークは庇陰下にあった。しかし、暗い処理区ほど単位葉面積当たりの乾重が小さく陰葉化が進み、光照射に対して気孔開度の大きなハンチング現象が認められ、さらに気孔反応の鈍化が著しくなることが認められた。気孔コンダクタンスの検討の結果、日本産広葉樹よりも熱帯のフタバガキ科樹木の Gw は低い範囲にあり、Gw に著しい日中低下が認められた。このような Gw における特徴が、耐陰性は高いが成長が比較的遅いというフタバガキ科樹種の特性の理由の一つになっていることが示唆された。

また、現地での P-V 特性の検討の結果、苗木よりも成木のほうが、いずれの樹種においても著しく乾燥抵抗性が高く、葉も厚かった。このことから、それぞれの樹種で程度の差はあるが、多雨林樹種と言えども高樹高になることで生じる水ストレスに、適応していることが明らかになった。さらに、炎天下でよく成育する *H. odorata* の光合成の最適温度は、耐陰性の高い *N. heimii* より高温側にあり、生態的な種分布や成長特性と対応していることが示された。

[キーワード] 熱帯多雨林、フタバガキ科樹種、気孔反応特性、水分特性、温度－光合成特性

1. 序

地球上に生命が誕生しておよそ35億年であるが、環境が生命を育み、生命はまた環境を変化させて緑豊かな地球生命圏をつくりあげた。しかしいま、豊かな地球生命圏のなかで、およそ200万年前に現れた人類が自らの生命圏を危機に陥れようとしている。爆発的な人工増加と生産活動は、大気を汚しオゾン層を破壊して生命圏を守る成層圏まで影響を及ぼし、いっぽうでは、化石燃料の消費や森林の破壊によって大気中のCO₂濃度を上昇させ、人類の生存に関わる気候変動をもたらそうとしている。

熱帯林は陸地面積のわずか6%にしかすぎないが、地球上の陸上生態系のおよそ半分のバイオマスを保有し、その量的豊かさ、生産力の高さは、人類の生存に大きく関わる地球環境の形成と維持に大きな影響を与えている。その熱帯林には、地球上の生物種の半分以上におよぶ多様な動植物種が生息している。

これらの動植物種が相互に依存し、影響し合うことによって、熱帯林生態系が形成され、維持されているが、それを保全するためには、この複雑な生態系を理解することが不可欠である。すでに熱帯林生態系は毎分およそ21haの速度で急速に消失しており、動植物種の維持が困難になりつつあり、生物資源確保、維持からも熱帯林生態系を構成する動植物種の多様性を保ち得ている要因を早急に解明する必要がある。

2. 研究目的

熱帯多雨林は、温帯林と比較して、きわめて多数の樹種によって構成されている。しかも、更新と再生の難しい樹種や環境変化に感受性の高い樹種も多く、環境適応性の面からみても著しく多様性に富んでいると思われる。

本研究では、こうした熱帯樹種の環境適応性を、光合成、蒸散、気孔コンダクタンス、水分特性などの生態生理的特性の面から解析し、熱帯樹種の多様性を明らかにすることを目的としている。

3. 研究調査地および研究方法

(1) 庇陰に伴う成長および気孔反応特性

マレーシア産 *Shorea talura* の種子を用いて人工環境下で庇陰試験を行い、成長と気孔反応特性を調べた。

用いた材料は、バーミキュライトを入れたポット (a/10,000) に初生葉展開直後のメバエを植えたポット苗である。森林総合研究所の人工気象実験施設 (ファイトロン) の人工光室内 (日長16時間、気温日中25℃、同夜間20℃、相対湿度75%一定) に光透過率の異なる遮光用フィルムで覆った庇陰箱を設置し、庇陰処理区を設定した。処理区は苗上の明るさで29、13.5、2.7、0.7 klxの4段階で、処理期間はおよそ15週間である。処理終了時に苗高、上胚軸長、節間長などの成長量を測定した。また、これらの苗の葉の光変化に対する気孔抵抗の変化を調べ、その後葉位別

に単位葉面積あたりの乾重を求めた。

光変化に対する気孔反応の測定は、以下の方法で行った。気温25℃、相対湿度75%一定に調節した小型環境調節室にポット苗を入れ、暗黒下で一晩順化させた。翌朝に光を照射し、気孔抵抗の変化をスーパーポロメーター (LI-1600、米国ライカ社) で葉位別に測定した。光照射開始からおよそ4時間後に光を消して、消灯後の気孔抵抗の変化を同様に測定した。

(2) 気孔コンダクタンス

熱帯多雨気候下に位置するマレーシア森林研究所 (FRIM, Forest Research Institute of Malaysia) 構内の苗畑に生育するフタバガキ科数種 (*Shorea leprosura*, *S. ovalis*, *S. parvifolia*, *Dryobalanopus aromatica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarps heimii*) の苗木を用いて、野外で気孔コンダクタンスと光強度との関係、および日中低下の程度を調べた。また、対照として成長が速く乾燥にも強い *Acacia mangium* も同時に測定した。

日の出後30分～2時間間にスーパーポロメータ (LI-1600、米国ライカ社) を用いて気孔コンダクタンスを測定した。測定は直射光下および遮光率が異なるサランネット下で行った。また、太陽の南中時 (現地時間で午後1時すぎ) から1時間の間にも直射光下で同様の測定を行った。

(3) 水分特性

熱帯多雨気候における自然条件下に生育するフタバガキ科数種 (*Shorea platyclados*, *S. assamica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarps heimii*, *Dryobalanopus aromatica*) の成木の陽葉と、十分な灌水を行って育てた苗畑苗における水分特性を、P-V曲線法によって調べ比較した。

材料の採取地で枝 (長さ1m程度) を水切りし、吸水させた後ポリ袋に密封し、実験室に持ち帰った。持ち帰った材料から30cm程度の枝を切りとり、再度水切りをして十分吸水させた後、単葉を切りとって測定に用いた。切りとった試料から室温条件で蒸散により徐々に水分を失わせながら、分析天秤とプレッシャーチャンバー (米国ソイルモイスタチャー社製) を用いて、相対含水率と木部圧ポテンシャルの測定を繰り返し行い、P-V曲線 (Tyree & Hammel 1972, 丸山・森川 1983) を作成した。木部圧ポテンシャルの値はそのまま水ポテンシャル (Ψ_w) とした。

P-V曲線から、膨圧 (圧ポテンシャル、 Ψ_p) を失って萎れを起こすときの水ポテンシャル (Ψ_w^{crit}) およびその時の相対含水率 (RWC^{crit})、飽水時の浸透ポテンシャル (Ψ_s^{sat}) などのパラメータを求めた。細胞壁の体積弾性係数 (ϵ) は、細胞の体積変化に対する圧ポテンシャルの変化の割合から次式によって求め、その最大値を ϵ_{max} とした。

$$\epsilon = V \cdot d\Psi_p / dV \quad (1)$$

飽水時の生細胞内液量 (V_0) とそれにとけ込んでいる溶質のosmole数 (N_s) は、 Ψ_s^{sat} を表す次式から求めた。

$$\Psi_s^{sat} = R \cdot T \cdot N_s / V_0 \quad (2)$$

なお、材料の採取地は、FRIM構内およびその周辺の森林である。測定はFRIMの実験室内で行った。

(4) 光合成特性

FRIM構内に人工造林された *H. odorata* および *N. heimii* の若齢木の陽樹冠から得た陽葉について

て、切り枝法による温度、光強度と光合成速度の関係を調べた。

用いた測定装置は、日本で自作した移動式人工気象箱（小型の簡易ファイトトン）および携帯式光合成蒸散測定装置（英国ADC社製）である。材料の採取は早朝に行い、水切りの後、直ちにFRIMの実験室に持ち帰り測定を行った。切り枝による光合成の測定において、温帯樹種に比べ今回用いた熱帯樹種では、切り葉の水揚げが困難な場合が多く、きわめて新鮮うちに測定を終えるなどの測定上の工夫が必要であった。また、気孔開度の周期的な変動のため、測定中の光合成速度の変動が大きく、一定条件下での安定した結果を得るのにやはり長時間を要した。

なお、葉の水分特性や光合成速度測定は、材料が新鮮であるうちに行う必要があるため、現地での測定が不可欠であるが、現地実験室での測定中の停電や断水により、測定の中断、やり直しの事態が極めて多かった。日本国内での測定にくらべ非常に非効率で円滑な測定作業の弊害となった。

4. 測定結果および考察

(1) 庇陰に伴う成長および気孔反応特性

*Shorea talura*の光条件と苗高、上胚軸長、および節間成長との関係を図-1に示した。庇陰処理苗の上胚軸長、苗高はいずれも13.5klx区が最大で、それより強光でも弱光でも成長は低下した。また、節間長は暗い処理区ほど大きな値を示した。多くの日本産樹種で上長成長は庇陰条件下で最大になる（川那辺・四手井、1965、1966、1968など）が、*Shorea talura*の成長ピークはこれらと較べてもより弱光域にあった。これは、熱帯性の*Shorea talura*では庇陰による節間成長の促進、すなわち徒長成長が弱光域で著しくなることを示している。

図-2に光条件と葉の単位葉面積当たりの重さ（SLA）の関係を示した。庇陰処理開始後に展開した2次葉のSLAは、暗い処理区ほど小さかった。すなわち、ウダイカンバ（MARUYAMA et al. 1986）、シラベ（松本 1984）ほか多くの種と同様に庇陰下で薄い陰葉型を示し、成育する光環境に対する適応が認められた。

図-3に光照射直後からと消灯直後からの気孔抵抗の変化を示した。光照射後の気孔抵抗は必ずしも一定ではなく、いずれの処理区の葉もある周期を持って変動した。その周期は明るい処理区の葉ほど短い傾向が認められた。最も暗い0.7klx処理区の葉では、いったん開いた気孔が急速に閉鎖し、その後の気孔開孔は著しく遅れた。また、気孔抵抗の絶対値も他の処理区に比べて大きかった。これらを葉別で比べると、庇陰処理開始以前に展開していた初生葉も2次葉と同様の傾向を示しており、葉の展開後の光環境も気孔反応に大きく影響を与えているようであった。

庇陰処理区での気孔開孔の遅れは、一時的な強光、たとえばsunfleckのような光に対して、弱光域で育った葉がガス交換、すなわち光合成生産の面で不利な性質を持つことを示しているようにも思える。しかし一方で、気孔開孔が遅くかつ気孔抵抗が大きいことは、上木の伐開のような光環境の急激な変化に対し、蒸散による急激な水分損失を抑制する性質を持つことを示しているとも言える。薄い陰葉型の葉は単位葉面積あたりの含水量が少なく、厚い陽葉と比べて水ストレスを受け易いが、こうした気孔反応の特徴は水ストレスの回避に有利に働いていると考えられる。

消灯に対しては、いずれの処理区の葉もほぼ一方的に気孔を閉じる傾向が認められたが、庇陰処理間でその速さに違いがみられた。すなわち、最も明るい29klx処理区の葉では消灯後急速に気孔を閉じたが、暗い処理区では気孔閉鎖が遅れがみられ、0.7klx処理区の葉では消灯から15分程

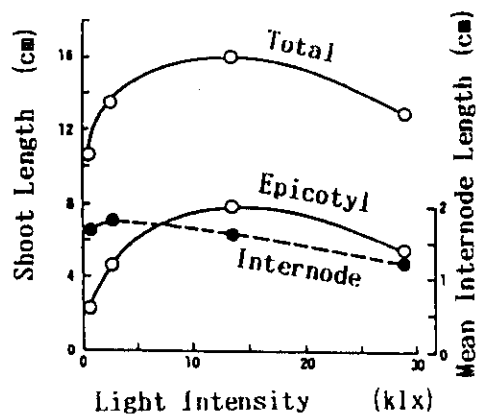


図-1 *Shorea talura*の光条件と苗高、上胚軸長、節間成長

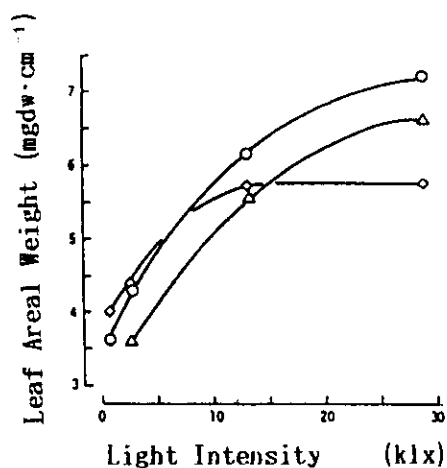


図-2 *Shorea talura*の光条件と葉の単位葉面積あたりの重さ
◇: 初生葉、○: 2次葉-1、△: 2次葉-2

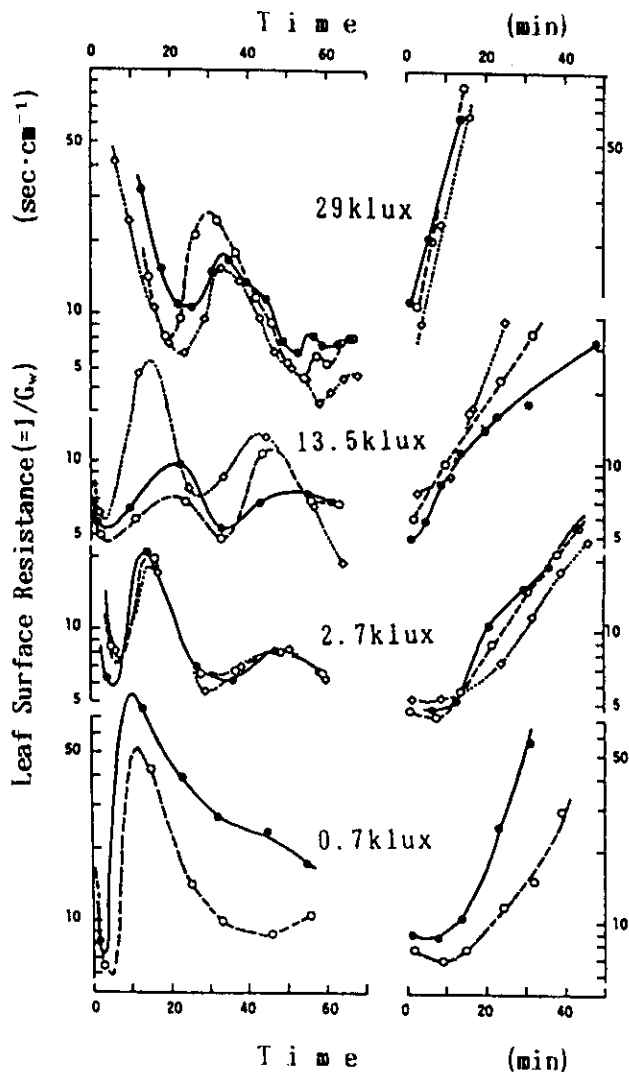


図-3 *Shorea talura*の光照射(左)、消灯(右)に対する気孔抵抗の変化
○: 初生葉、●: 2次葉-1、◇: 2次葉-2

度経過してから気孔が閉じ始めた。これらの結果から、光環境の変化に対する気孔反応が、庇陰によって鈍化する可能性が示された。

(2) 気孔コンダクタンス

光強度と気孔コンダクタンスの関係を図-4に示した。気孔コンダクタンス (G_w) の最大値は、フタバガキ科では *Shorea leprosura* および *S. ovalis* が $0.25 \sim 0.3 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ で高く、*N. heimii* が $0.15 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ で低かった。同時に調べた *Acacia mangium* は $0.5 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ で、調べた範囲のフタバガキ科樹種で最も G_w の高かった *S. leprosura* のおよそ2倍であった。また、日本産広葉樹の G_w はおよそ $0.2 \sim 1.0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ で (松本ほか 1992)、これらと比較してもフタバガキ科樹木の G_w は低い範囲にあった。

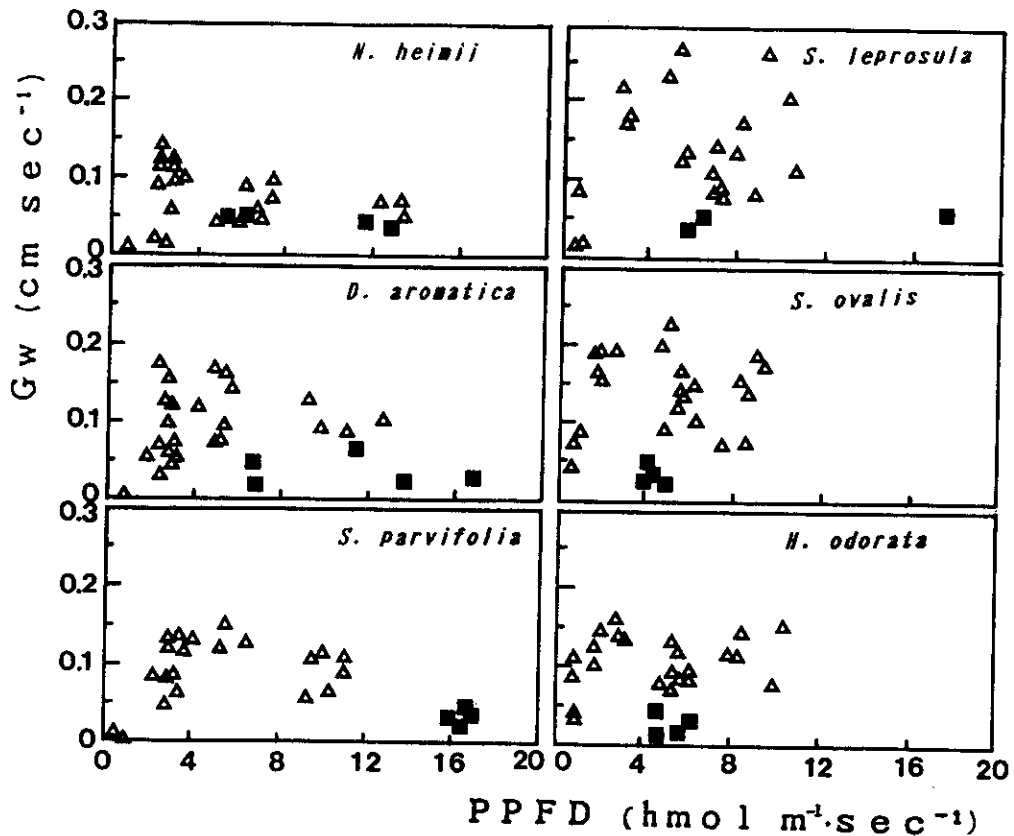


図-4 フタバガキ科樹種6種における光合成有効光量子密度 (PPFD) と気孔コンダクタンス (Gw)

△:日の出後2時間以内の測定値、■:南中時後の測定値

表-1 フタバガキ科数樹種の十分灌水された苗木および自然状態で成育する成木における、しおれを起こす水ポテンシャル (Ψ_w^{t1P})、十分吸水したときの浸透ポテンシャル (Ψ_s^{sat})、相対含水率 (RWC^{t1P})、細胞体積弾性率 (ϵ_{max})、生細胞内液にとけ込んでいる溶質Osmole数 ($N_s \cdot DW^{-1}$)、単位葉量当たりの生細胞内液量 ($V_o \cdot DW^{-1}$)、単位葉面積当たりの葉乾重 ($DW \cdot LA^{-1}$)、および全細胞内液量 ($V_t \cdot LA^{-1}$)

Species	Ψ_w^{t1P} -MPa	Ψ_s^{sat} -MPa	RWC^{t1P} %	ϵ_{max} MPa	$N_s \cdot DW^{-1}$ OS·kgDW ⁻¹	$V_o \cdot DW^{-1}$ kgH ₂ O·kgDW ⁻¹	$DW \cdot LA^{-1}$ mgDW·cm ⁻²	$V_t \cdot LA^{-1}$ mgH ₂ O·cm ⁻²
Nursery								
<i>S. assamica</i>	1.66	1.32	84.1	23.9	0.64	1.20	6.97	12.37
<i>D. aromatica</i>	1.66	1.39	87.6	16.0	0.73	1.31	6.88	11.65
<i>H. odorata</i>	1.43	1.23	91.1	23.7	0.65	1.30	6.27	12.50
Mature or planted								
<i>S. assamica</i>	1.75	1.42	86.3	25.6	0.60	1.05	7.73	11.29
<i>S. platyclados</i>	2.10	1.46	74.1	15.6	0.74	1.26	9.41	14.14
<i>D. aromatica</i>	2.58	1.87	80.2	18.7	0.64	0.84	15.74	18.60
<i>H. odorata</i>	2.35	1.64	74.3	29.5	0.77	1.16	8.91	12.26
<i>N. heimii</i>	2.42	1.95	85.2	81.4	0.66	0.84	9.00	10.09

図において、*N. heimi*では朝方のGwは弱光下で高く、強光下で低下する傾向がみられた。このことは、Gw値が高くないこととあわせて、*N. heimi*の耐陰性が高くかつ成長が著しく遅い要因になっていると考えられる。朝方の強光下でのGwの低下は、*S. parvifolia*および*Dryobalanopus aromatica*でも認められた。また、図における朝方と南中後のGw値の比較において、フタバガキ科ではGwに著しい日中低下が認められたが、図示を省略したが*Acacia mangium*では日中低下が明瞭でなかった。Gw値の日中低下は、十分な光と温度があっても光合成速度を低下させ、通常の日であればむしろ温度の日変化の影響よりもはるかに大きい光合成生産の律則要因となる（松本ほか 1992）。したがって、こうした気孔コンダクタンスの特徴が*Acacia mangium*と比較してフタバガキ科の樹種の、耐陰性は高いが成長が遅いという樹種特性の一つの理由になっていると考えられる。

(3) 水分特性

P-V法による葉の水分特性の測定結果を表-1に示す。しおれを起こす水ポテンシャル ($\Psi_w^{1/2}$)、十分吸水したときの浸透ポテンシャル (Ψ_s^{sat}) は、乾燥抵抗性を比較する上で重要なパラメータであり、値が低いほど水ストレスに対して膨圧を維持しやすく、乾燥抵抗性が高いと言える。また、 $\Psi_w^{1/2}$ および Ψ_s^{sat} の値が低いほど気孔が閉じ始めるときの水ポテンシャルの値が低くなる傾向が認められている (Lakso 1983)。

表において、 $\Psi_w^{1/2}$ および Ψ_s^{sat} は、いずれの樹種も苗木で得られた値よりも成木のほうが著しく低かった。すなわち、自然条件下で生育する成木の葉の乾燥抵抗性は、適潤条件下の苗木と比べて高いといえる。このような着葉位置の高さによる乾燥抵抗性の違いは、スギ (*Cryptomeria japonica*) でも認められており (丸山ほか 1989)、また同じ個体の陽葉でも樹冠の上部と下部で水分特性は異なる (丸山 未発表)。水ポテンシャル (Ψ_w) は高さによっても左右され、通導抵抗を込みにして、その勾配は $0.015\sim 0.020\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$ 程度と見積もられる (森川・丸山 1987)。したがって、たとえば25mの高さの差があれば、 $0.4\sim 0.5\text{MPa}$ 程度の Ψ_w の違いが生じており、成木の樹冠葉は苗木に比べ常に水ストレスを受けやすい状態にあると言える。成木の葉が苗木と比べ乾燥抵抗性が高いことは、このような理由によると考えられる。

葉の厚さを示す単位葉面積当たりの葉乾重 (SLA) は、自然条件下で生育する成木が苗木より大きかった。すなわち、成木の葉は厚く、乾性形態を示しており、すでに述べたように膨圧の維持だけでなく、形態的にも高樹冠に位置することからおこる水ストレスに適応していると考えられる。

(4) 光合成特性

切り枝法による温度-光合成速度関係を図-5に示す。最適温度は、例えば日本国内の高山帯に生育するハイマツの最適温度は 15°C 以下 (松本 未発表)、亜高山帯のシラベでは約 15°C (松本・根岸 1982) と自生地の日中の平均温度にほぼ等しくなる傾向がある。しかし、*N. heimi*の最適温度は $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 前後、*H. odorata*では 28°C 前後で、熱帯の温度環境を反映してその最適温度は比較的高温であったが、いずれの樹種も同じ場所に成育していたにもかかわらず、最適温度に樹種間の差が認められた。また、*N. heimi*のみかけの光合成速度は高温域で大きく低下し、低温域での低下は小さく、*H. odorata*では低温域で大きく低下し、高温域の低下は小さいという違い

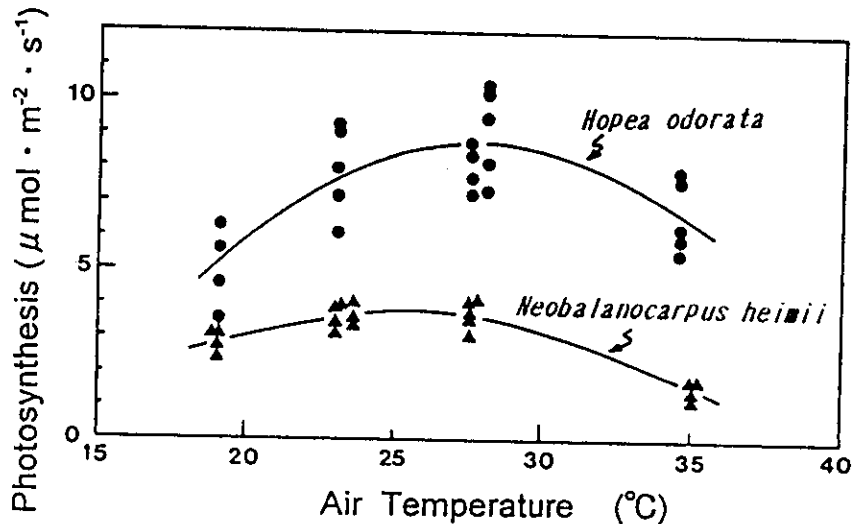


図-5 *Hopea odorata* および *Neobalanocarpus heimii* の陽葉の温度-光合成曲線

がみられた。

N. heimii は比較的耐陰性が高く、いっぽう、*H. odorata* は日中高温になりやすい無立木地の強光下で成長が良いことが知られている。したがって、これらの結果は、林内外の日中の気温差や樹種の陰性・陽性といった性質とも対応しており、成育適温のみならず光に対する指向性に関係した樹種特性を反映したものと考えられる。

5. まとめ

*Shorea talura*の庇陰に伴う成長および気孔開閉反応を検討した結果、多くの日本産樹種に比べ、徒長成長が弱光域で著しく、上長成長のピークは弱光域にあった。また、光照射後の気孔抵抗は、ある周期を持って変動したが、その周期は明るい場所で育った葉ほど短い傾向が認められ、光環境の変化に対する気孔開閉反応は、庇陰によって鈍化すると考えられる。

苗畑に生育するフタバガキ科苗木数種 (*Shorea leprosura*, *S. ovalis*, *S. parvifolia*, *Dryobalanopus aromatica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarpus heimii*) を用いて、光強度と気孔コンダクタンス (Gw) の関係を検討した結果、日本産広葉樹よりも熱帯のフタバガキ科樹木のGwは低い範囲にあった。また、フタバガキ科樹種ではGwに著しい日中低下が認められることが明らかになった。このようなGwにおける特徴が、耐陰性は高いが成長が比較的遅いというフタバガキ科の樹種の特性的理由の一つになっていると考えられる。

P-V法による葉の水分特性を *Shorea platyclados*, *S. assamica*, *Hopea odorata*, *Neobalanocarpus heimii*, *Dryobalanopus aromatica*を用いて検討した結果、日本のスギと同様に、成木の葉のほうが苗木よりも乾燥抵抗性が著しく高いことが明らかになった。このことは、成木の葉は苗木に比べ厚く、乾性形態を示していることから明らかと考えられる。

切り枝法により、*N. heimii*と *H. odorata*の陽葉の温度-光合成速度関係を検討した結果、日中高温になりやすい無立木地の強光下で成長が良い *H. odorata*のほうが、比較的耐陰性が高いが高

温になりやすい場所での成長が悪い *N. heimii* より最適温度域が高く、高温域での光合成低下が少ないことが明らかになった。

6. 本研究により得られた成果

熱帯多雨林地域の高温多湿な環境に成育しているとはいえども、フタバガキ科樹種では、それぞれの樹種で程度の差はあるものの、気孔コンダクタンスの値からみて蒸散量が少ないが、高樹高になることで生じる水ストレスは大きく、かなり乾燥適応していることが明らかになった。また、生態的に特徴的な分布と成長特性をもつ樹種間で、光合成速度の温度に対する反応が異なることを明らかにした。

7. 引用文献

- 川那辺三郎・四手井綱英 (1965) : 陽光量と樹木の生育に関する研究 (I) 2, 3の落葉広葉樹苗木の庇陰効果について. 日林誌47(1)、9-16
- 川那辺三郎・四手井綱英 (1966) : 陽光量と樹木の生育に関する研究 (II) カレンボク (*Camptotheca acuminata* Decne) の庇陰効果に及ぼす密度の影響. 京大演報38、68-75
- 川那辺三郎・四手井綱英 (1968) : 陽光量と樹木の生育に関する研究 (III) 針葉樹苗木の生育に及ぼす庇陰の影響. 京大演報40、111-121
- LAKSO, A. N. (1983) : Morphological and physiological adaptations for maintaining photosynthesis under water stress in apple tree. In "Effects of stress on photosynthesis (MARCELLE, R. *et al.* ed.)" . 85-93, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers (Hague)
- MARUYAMA, Y., T. INOUE, & Y. MORIKAWA (1986) : Light-photosynthesis curves of leaves on birch seedlings grown under different light conditions. J. Jpn. For. Soc. 68, 10-14
- 丸山 温・太田敬之・正木 隆・丹下 健・松本陽介 (1989) : スギ樹冠上部の葉の水分特性. 林木の成長機構3、19-25
- 松本陽介・根岸賢一郎 (1982) : 林内および伐採跡地に生育するシラベ前生稚樹の光合成・呼吸. 日林誌64(5)、165-176
- 松本陽介 (1984) : シラベ前生稚樹の光環境と光合成生産 (I) 季節的生長、樹冠の発達および純生産. 東大演報73、199-228
- 松本陽介・丸山 温・森川 靖 (1992) : スギの水分特性と関東平野における近年の気象変動 - 樹木の衰退現象に関連して - . 森林立地34(1)、2-13
- 森川 靖・丸山 温 (1987) : 生長と水 (樹木の生長と環境. 畑野健一・佐々木恵彦編著、383p p.、養賢堂、東京) . 297-330
- TYREE, M. T. & H. T. HAMMEL (1972) : The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Exp. Bot. 23, 267-282

国際共同研究等の状況

本研究は、マレーシア国、マレーシア森林研究所との共同研究として実施している。カウンターパートは、環境科学部 (Environmental Sciences Division) のDr. Son Kheong Yap氏である。

研究発表の状況

Net Photosynthesis Responses to Temperature and Light Intensity in several Malaysian Tree Species. Journal of Tropical Forest Science (投稿準備中)