

攪乱された熱帯林における稚樹の成長

古川昭雄^{1,4}、Muhamad AWANG²、Ahmad Makmom ABDULAH²、
山田俊弘³、横田岳人^{3,4}

(¹国立環境研究所生物圏環境部、²Faculty of Environmental Sciences, University of
Putra Malaysia、³国立環境研究所地球環境研究グループ森林減少・砂漠化研究チーム、
⁴現在：奈良女子大学理学部生物科学科)

Growth and establishment of seedlings in disturbed tropical forest
Akio FURUKAWA^{1,4}, Muhamad AWANG², Ahmad Makmom ABDULAH²,
Toshihiro YAMADA³, Taketo YOKOTA^{3,4}

¹Environmental Biology Division, National Institute for Environmental Studies,

²Faculty of Science and Environmental Studies, Universiti Putra Malaysia,

³Global Environment Division, National Institute for Environmental Studies,

⁴Department of Biology, Faculty of Science, Nara Woman's University

摘 要

熱帯林における自然更新過程を解明するために、自然状態と人為的環境下における実生の成長について調べた。自然状態における調査は、*Shorea leprosula*をサイズの異なるギャップに植栽し、成長の変化を調べた。その結果、*S. leprosula*は、ギャップの大きさが大きいほど成長が良かった。

半島マレーシアでは、1996年2月から3月にかけて一斉開花が起こり、その年の8月から9月に掛けて種子が落下した。その種子を採集し、発芽させた後、寒冷紗を架けて被陰した場所で栽培した。実生苗は1996年の12月まで同じ環境条件下で栽培し、UPM (Universiti Putra Malaysia) 構内の伐採跡地に植栽した。植栽した樹種は21種で、総本数は2423本であった。植栽地には伐採されずに残っていた樹木や遷移初期に出現するマカラング等の樹高10m程度の樹木があり、そのような樹木の下にも植栽を行った。樹木によって被陰された場所を遮光区、上部に樹木のない場所を裸地区とし、各々の区に樹種構成が均等になるように植栽した。その結果、被陰区と裸地区で各々1203本と1220本であった。

キーワード：環境林、熱帯林再生、二次遷移、水分供給

1. はじめに

近年の急激な熱帯林の減少は、地球環境の変化、野生生物種の消滅などをもたらすと危惧されており、早生樹種やその地域の固有種を用いた熱帯林再生が行われている。しかし、これまでの熱帯林再生は、市場価値の高い有用材による造林が主目的であったため、少数の樹種構成からなる再生が主であった。森林を構成する樹木の種類数が少ないと、そこに生息する野生動物種の多様度も低くなる。もし、生物の多様性を維持する目的で熱帯林の保全・再生を目指すならば、多様な樹種からなる熱帯環境林の保全・再生を計る試みがなされるべきであろう。

種の多様な熱帯環境林の維持・更新機構を解明するには、実生の動態を把握する必要がある。熱

帯多雨林の主要な構成樹種はフタバガキ科に属する。この科に属する樹種は林床の暗い光環境下で芽生え、成育し、林冠にまで達する林冠構成種になる。この過程において、フタバガキ科樹種の生理機能は環境条件の変化に適応して変化することが予想される。したがって、熱帯雨林の維持・更新機能を解析するにはフタバガキ科樹種の特徴を明らかにする必要がある。この目的のために、フタバガキ科の*Shorea leprosula*を倒木によって形成された様々なサイズのギャップに植栽し、成長過程を調べた。また、多くの樹種による熱帯環境林の再生を試みるために、UPM (Universiti Putra Malaysia) の構内の一部を本研究のために借り、21種、2423本の稚樹を植栽した。植栽した樹種の中には、遷移初期に出現する*Macaranga*属3種、熱帯林の樹冠を構成するフタバガキ科の中から

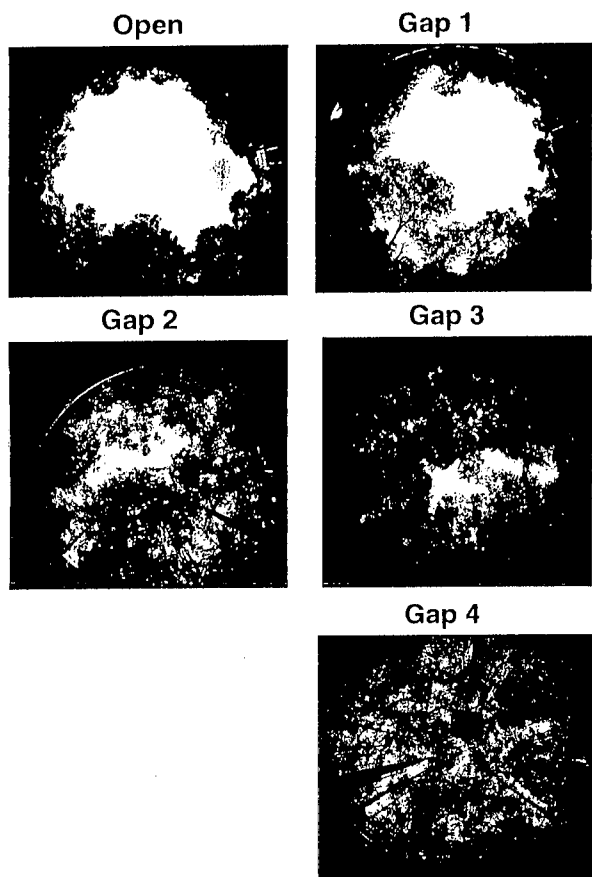


図1 裸地とギャップ4地点における全天写真

*Dipterocarpus*属3種、*Shorea*属5種の稚樹を栽培し試験地に移植した。このように遷移段階の異なる樹種を同時に植栽したのは、光の獲得競争の種間差を短期間に明らかにしようとするためである。

2. 材料と方法

2.1 ギャップにおける稚樹の生長

低地林が保全されているパソアのマレーシア森林研究所保護林で1991年8月8日から、ギャップサイズを異にする4地点とオープンエリアに*Shorea leprosula*の1年生実生苗を植栽した。植栽後、苗の高さ、地際直径を測定した。

光量子密度の日変化は小糸工業製の光量子センサーを用い、出力をコーナースステムの1チャンネル、データロガーに集録した。集録したデータは計算機で処理した。図1に各地点における全天写真を示した。

2.2 伐採跡地における稚樹の生長

1996年2月から3月にかけて、半島マレーシアのパソア保護林で一斉開花が起こり、その年の8月から9月に種子が落下した。落下した種子を採集し、UPMに持ち帰り発芽させ、ジフィー7（お

表1 植栽した樹木の種名と樹高

種名	被陰区		裸地区	
	樹高, cm	n	樹高, cm	n
<i>Dipterocarpus sublamellatus</i>	8.85±0.217	125	9.40±0.205	127
<i>Xanthophyllum amoenum</i>	8.13±0.240	90	7.95±0.264	89
<i>Caesalpinia sappan</i>	8.87±0.263	130	8.91±0.228	129
<i>Shorea macroptera</i>	6.00±0.183	139	6.18±0.185	120
<i>Vatica bella</i>	4.76±0.134	119	4.76±0.120	128
<i>Shorea paucifolia</i>	11.22±0.260	111	11.05±0.278	111
<i>Dipterocarpus cornutus</i>	7.25±0.258	69	7.51±0.271	69
<i>Macaranga lowii</i>	6.39±0.167	60	5.93±0.177	70
<i>Shorea multiflora</i>	6.33±0.307	60	7.71±0.284	60
<i>Elaeocarpus nitidus</i>	10.71±0.720	70	10.32±0.382	69
<i>Macaranga triloba</i>	5.83±0.422	49	5.42±0.208	50
<i>Neobaranocarpus heimii</i>	26.97±1.222	50	30.65±1.436	50
<i>Scapium macroppodum</i>	7.86±0.489	29	10.22±0.528	30
<i>Sapium baccatum</i>	5.51±0.325	20	6.15±0.507	20
<i>Elateriospermum tapos</i>	27.25±1.235	20	25.93±1.501	20
<i>Macaranga gigantea</i>	11.16±1.102	21	8.45±0.707	21
<i>Shorea lepidota</i>	10.65±2.428	11	9.86±0.587	18
<i>Palaquim maingayi</i>	10.15±0.517	10	9.55±1.047	10
<i>Endospermum malaccense</i>	3.60±0.348	10	5.35±0.683	10
<i>Dipterocarpus crinitus</i>	3.75±0.389	10	2.60±0.323	10
<i>Shorea maxima</i>			6.94±0.586	9
枯死木		8		9
合計		1203		1220

被陰区は、現存している樹木の下に植栽した場所、裸地区は、稚樹の上部にさえぎる樹木がない場所を示す。

がくずを固めてできた苗を保持する資材)を入れた育苗バットを用いて栽培した。また、UPMの演習林から二次遷移初期に出現する樹種の稚樹を採集し、ビニール製の鉢に移植した。栽培は、UPMの屋上に寒冷紗を架けた下で行った。灌水は定期的に行い、植栽実験を開始するまで同じ条件下で栽培した。

UPM構内の圃場の一面にゴム林を伐採して放棄され、二次遷移が始まっていた場所を借り、実生稚樹を0.45haに植栽した。試験地の概況を図5に示した。試験地は、5m×5mのコードラートに区切った。

試験地は、ゴム林の伐採跡地でマカラング等の二次遷移初期に出現する樹木や残存していたゴムの木があったが、切らずにそのまま残した。そのため、コードラートによって光環境が異なる。残存樹木の下で直射光が当たらないコードラートを被陰区、上部に樹木がなく直射光が当たるコードラートを裸地区として、各々のコードラートに樹種組成が同じになるように植栽した。試験地は、植栽前の9月の時点で被陰区、裸地区とも下草を刈り取った。裸地区はイネ科の雑草によって被われていたので、12月に植栽を行う直前にも雑草を

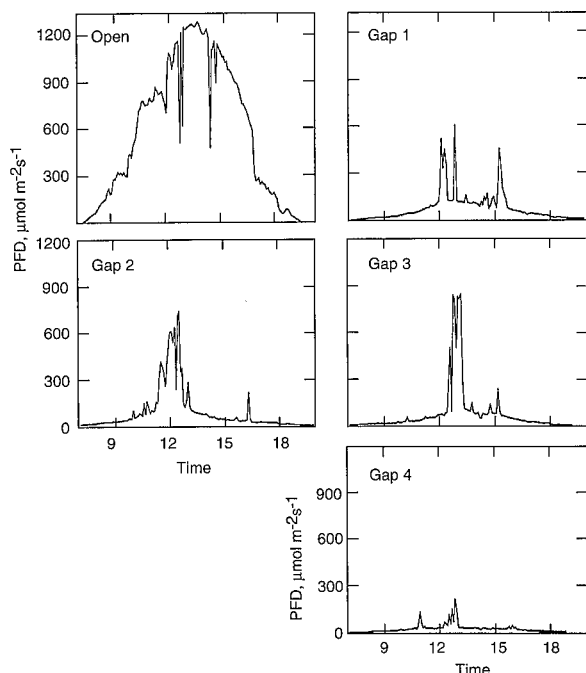


図2 裸地とギャップ4地点における光量子密度の日変化

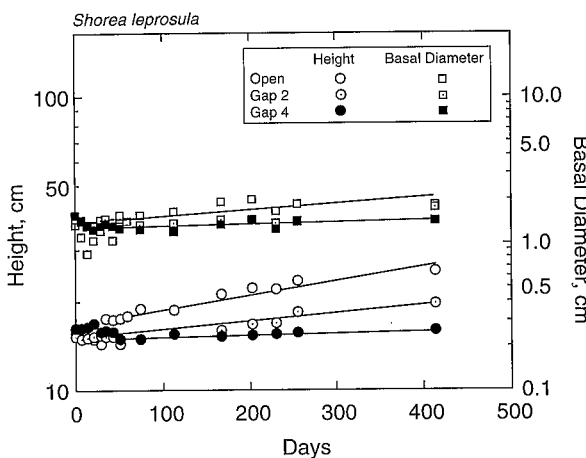


図3 裸地とギャップに植栽したShorea leprosula稚樹の稚樹高と地際直径の変化

刈り取った。植栽した樹種の一覧を表1に示した。

3. 結果と考察

3.1 ギャップにおける稚樹の生長

裸地での光量子密度の変化は、最大光量子密度が $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超えることもあったが、15時頃には降雨のために光量子密度が著しく低下した。低下が最も顕著であった日には、光量子密度が $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下にまでなった(図2)。

比較的開けたGap 1の地点では、12時頃と15時頃に二つのピークが見られた。これは、ギャップの構造に起因するもので、西側の樹冠部が空いているためである。一方、Gap 2では13時頃に高い光量子密度が観察され、その他の時間帯における

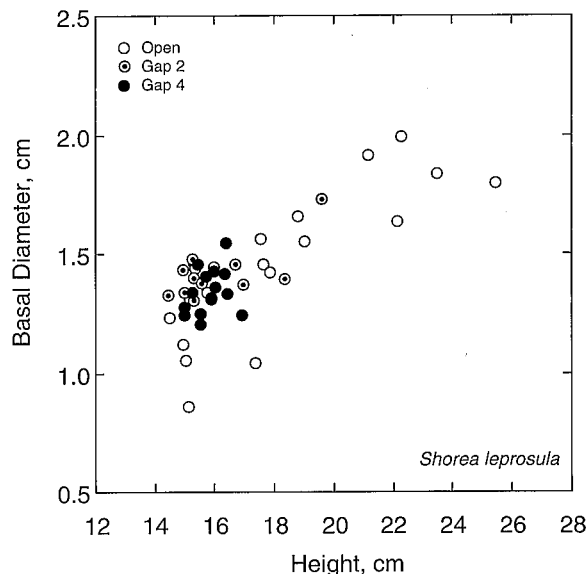


図4 Shorea leprosula稚樹の稚樹高と地際直径の関係

光量子密度は $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下であった。同様の傾向はGap 3でも観察され、Gap 2、3の樹冠部は真上のみが空いているギャップ構造であることが、全天写真と光量子密度の日変化から明らかである。Gap 4の地点は、樹冠部は閉鎖されており、 $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下の光量子密度が林床に降り注いでいるだけである。Gap 1、2ではかなりの時間にわたって光量子密度が $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超し、稚樹が成長し次世代の樹冠木に成り得る可能性が推測されたが、Gap 3、4では $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超えることはあまりなく、かなり耐陰性の高い樹種しか成長できないのではないかと思われた。

開空面積の異なる3カ所のギャップと林床、裸地においてShorea leprosulaの稚樹高と地際直径の変化を調べた。その結果、稚樹高成長、地際直径成長ともギャップの大きさが増すにつれて増大した(図3)。いずれの成長も林床(Gap 4)で最も低く、開空面積が大きくなるにつれて成長量が増加した。林床における光環境は極めて悪く、サンフレック(木漏れ日)が当たる時間は他の地点よりも短く、サンフレックの光量子密度も低かった。しかし、この場所においても実生苗は枯死することなく、極めて低い成長速度ではあるが、成長していた。裸地における実生の生育はギャップ内や林床に比較して良かったものの、枯死率は高かった。これは、植栽した時期に降雨が少なく、乾燥害によるものと推察された。

図3に示した稚樹高と地際直径との関係を図4に示した。この関係は、いずれの生育場所に植栽した稚樹においても類似の関係が見られた。この

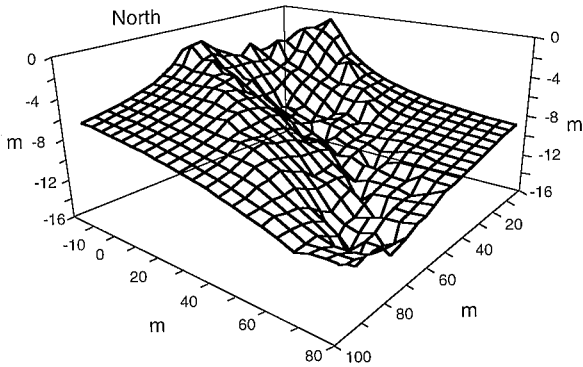


図5 植栽地の地形図。1メッシュは5m

ことは、暗い環境下で生育している稚樹でも光合成産物の伸長成長と肥大成長への配分割合が一定であることを示唆するものである。

ハワイで観測されたサンフレック¹⁾と比較すると、パソでサンフレックの継続時間は長く、ギャップでのサンフレックによる稚樹の光合成が1回のサンフレックによって十分に励起され、高い光合成速度を行っている可能性が示唆された。サンフレックの継続時間が長いことは、ギャップに生育している稚樹の成長を支配する最大の環境要因と考えられる¹⁾。とりわけ、今回の実験に用いた*S. leprosula*はフタバガキ科の樹種の中でも光要求性の高い樹種とされているので、開空面積が大きく光環境の良好な場所での成長量がギャップでの成長量よりも高くなったものと考えられる。しかし、裸地区での生残率がギャップでの生残率よりも低かったことから、生残率を高めるには、概念的には水分不足が起こらないであろう熱帯多雨林においても、稚樹の成長や生残に水分管理が不可欠であることを示している。この問題に関しては、種々の稚樹の植栽実験の結果において考察

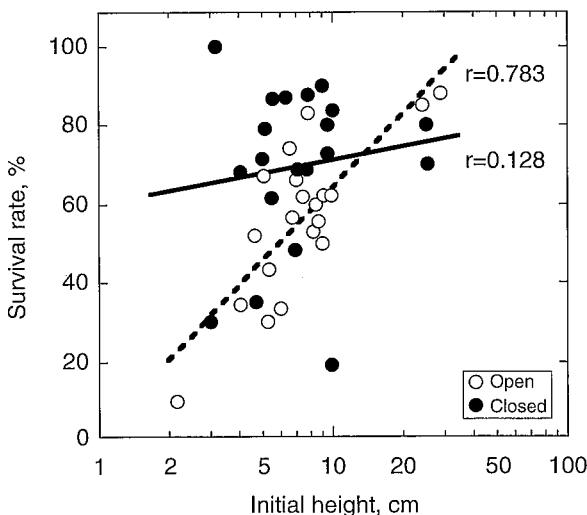


図6 植栽した稚樹の初期稚樹高と生残率との関係

する。

3.2 伐採跡地における稚樹の生長

1996年は一斉開花年にあたり、1996年の8月に多くの樹種の種子が入手できたので、ビニール鉢で発芽栽培し試験地に移植した(図5)。遷移初期に出現する*Macaranga*属の種子を採集して播種し移植したが、定着率は他の遷移後期に出現する種よりも低かった。さらに、UPMの演習林より採集した*Macaranga*属の実生苗を試験地に移植したが、この場合にも定着率は低く、*Macaranga*属は移植するのに不向きであることが明らかになった。攪乱を受けた場所で、遷移初期に出現する*Macaranga*属の移植が困難である理由は明らかではないが、この種は蒸散が活発で、根が移植の際に僅かでも痛められると根系からの水分の供給が悪化して枯死するのではないかと考えられる。

移植した稚樹の高さは樹種によって異なり、*Elatiospermum tapos*の稚樹の高さが最も高く、播種後の初期成長が最も良かった。これに対して*Macaranga*属の初期成長は樹冠構成樹種の稚樹よりも低く、成長に対する光やその他の環境要因がどのように作用するかを明らかにしていく必要がある。

各コードラートに植栽した稚樹の初期樹高と生残率との関係を図6に示した。裸地区での生残率と初期樹高との間には有意な相関関係が認められたが被陰区では相関は認められなかった。熱帯多雨林が成立するような多湿の環境下でも、晴天の日の飽差(葉内と大気の水蒸気密度との差)は高い日射量のために大きくなり、蒸発散速度が高くなるため、根系からの葉への水分供給が不足し、過度の水分供給不足が長期間にわたると植物は枯死する。すなわち、根系の発達が不十分な小さな稚樹は、このような影響を受けやすく、生残率が低くなるものと考えられる。遷移初期に出現する*M. gigantea*以外の*Macaranga*属の稚樹でも類似の現象は観察され、裸地区よりも被陰区での生残率が高かった。

光合成速度は、大気湿度によって影響されることは良く知られている²⁾。すなわち、葉内と大気との間での水蒸気圧差が増大すると気孔コンダクタンスが減少して光合成速度が減少する。しかし、水蒸気圧差の気孔コンダクタンスに対する影響の度合いは植物の種によって異なり、わずかな水蒸気圧差の増加によっても気孔が閉鎖して気孔コンダクタンスが減少し光合成速度が低下する種から、水蒸気圧差が30Pa kPa^{-1} に増加しても気孔コンダクタンスがそれほど低下しない種まである(Schulze and Hall, 1982)。われわれの行った別

の実験結果では、温帯生の樹種は水蒸気圧差に対する気孔コンダクタンスの低下は少なく、熱帯生の樹種の気孔コンダクタンスはわずかの水蒸気圧差の増大によって影響されることが明らかにされている (Park and Furukawa, 未発表)。

熱帯雨林が分布するような気候帯では、月間降雨量が100 mmを下回ることはなく、水分不足によって植物の成長が制限されないと考えられている³⁾。根系に十分な水が存在したとしても、根系から葉への十分な水分の供給がなされなければ、上に述べたような光合成速度の低下が起こりうるものと考えられる。すなわち、高温で太陽からの放射エネルギーが高い熱帯では、昼間の葉温は高くなり、蒸発散速度が増加して根系から葉への水分供給が不足して気孔コンダクタンスが低下すると考えられる。このような状態が継続すると、根系の発達が不十分な稚樹では葉がしおれ、やがては枯死することになる。裸地区で初期の稚樹サイズと生残率との間に有意な関係が見られたのは、サイズの小さい稚樹は根系が十分に発達していないために枯死しやすく、サイズの大きい稚樹の根系は十分に発達していて葉への水分供給が十分に

行えるために生残率が高くなったと考えられる。一方、被陰区では太陽からの放射エネルギーが低いために蒸発散速度が低く、稚樹のサイズが小さくても、葉における水分不足が起こりにくいため、初期の個体サイズと生残率との間に有意な関係が見られないのであろう。

文 献

- 1) Pearcy, R. W. (1983) The light environment and growth of C₃ and C₄ tree species in the understory of a Hawaiian forest. *Oecologia* 58, 19-25.
- 2) Schulze, E. -D. and A. E. Hall (1982) Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In Lange (ed.) *Physiological Plant Ecology. Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol 12B*. Springer, Berlin, Heidelberg and New York, 181-230.
- 3) Walter, H. (1973) *Vegetation of the Earth*. Springer, New York, Heidelberg and Berlin, 274 pp.