

E-1 熱帯林の持続的管理の最適化に関する研究

(2) 二次林化及び森林の分断化が森林群落の動態及び野生生物の生態に及ぼす影響

独立行政法人 森林総合研究所 森林植生研究領域 群落動態研究室 新山馨

独立行政法人 森林総合研究所

森林遺伝研究領域	ゲノム解析研究室	津村義彦
野生動物研究領域	鳥獣生態研究室	安田雅俊
北海道支所	チーム長	田内裕之
九州支所	森林生態系研究グループ	佐藤保

平成 11～13 年度合計予算額 46,029 千円

(平成 13 年度合計予算額 14,181 千円)

[要旨] 伐採による二次林化および分断化が森林群落の動態及び野生生物種の生態に及ぼす影響を明らかにするため、マレーシア半島の丘陵フタバガキ林に設置した天然林と択伐林の2つの試験地と、低地フタバガキ林のコアエリアとバッファゾーンに設置した3つの試験地で研究を行った。丘陵フタバガキ林の優占種である *Shorea curtisii* は胸高直径が 50cm を越えると高い割合で開花するが、択伐林では、50cm 以上の個体が少なく、遺伝子の交流が制限されていた。天然林での平均他殖率 96% に対し、択伐林では 52% と他殖率が明らかに低かった。花粉流動距離を DNA で分析すると、天然林で平均 28.3m、択伐林では平均 102.0m であった。これを基に繁殖単位面積（遺伝子の流動が行われる範囲）を算出すると *Shorea curtisii* の繁殖単位面積は天然林（6.3ha）より、択伐林（4.8ha）の方が狭かった。これは択伐林で自殖率が高く、遺伝子フローが制限されているためである。低地フタバガキ天然林の代表的なフタバガキ科樹種 *Neobalanocarpus heimii* は母樹密度が低い（0.71 本/ha）、広い繁殖単位面積（86.3ha）を持っていた。また *N. heimii* 種子には翼がないのに、母樹の樹冠下に他母樹の種子が平均で 16% 含まれていた。これは樹上性小型哺乳類が *N. heimii* のように翼のない樹種の種子散布に重要な役割を果たしていることを示している。このような種子散布で生じる空間的な遺伝構造を、フタバガキ科3種の中で比較した。*Hopea dryobalanoides* は強い遺伝構造を持つが、*S. pervifolia* は遺伝構造が弱く、*S. acuminata* では有意な遺伝構造が検出されなかった。1974年に部分的に伐採された二次林（0.2ha）での更新状態をみると、*Shorea lepusula* は8個体が既に胸高直径 5cm を越えていたが *N. heimi* は胸高直径 5cm を越えた個体は1個体もなかった。このように同じフタバガキ科の樹種でも、種子散布、繁殖単位面積や遺伝構造、伐採後の二次林での更新可能性に大きな違いがあることが明らかになった。樹上性小型哺乳類の組成は天然林と二次林では異なっており、択伐後 45 年を経ても天然林と択伐林では森林の林冠構造が異なり、小型哺乳類の組成と行動に影響が残っていた。

[キーワード] 遺伝的構造、樹上性小型哺乳類、択伐、二次林、繁殖面積

1. はじめに

多くの熱帯林は択伐や山火事などの影響で二次林化している。再度の山火事や伐採で森林の荒廃がさらに進行し、森林の持つエコロジカルサービス機能が著しく低下する例も多くみられる。

このような人為的影響が熱帯林生態系に与える影響を明らかにし、二次林化した熱帯林の持続的管理手法を明らかにすることは、熱帯林の保全を進めるために必要不可欠である。そのためには、天然林と二次林の比較によって、択伐や皆伐が樹木の更新や遺伝的多様性に与える影響を評価し、同時に、種子散布を通じて樹木の更新と遺伝構造に大きな影響を与える野生生物への伐採の影響を評価する必要がある。本課題ではマレーシア半島の主要な森林タイプである丘陵フタバガキ林と低地フタバガキ林の2カ所の森林保護区において、天然林と二次林にそれぞれ大型の試験地を設定し、フタバガキ科樹木を中心に、伐採後の更新、遺伝的多様性への影響、樹上性小型哺乳類の組成と行動の研究を行った。

2. 研究目的

- 1) 丘陵フタバガキ林の試験地で優占するフタバガキ科樹種、*Shorea curtisii* の開花サイズや個体密度、花粉による遺伝子フローに、択伐が与える影響を明らかにする。
- 2) 低地フタバガキ林では、生態的特性の異なるフタバガキ科樹種の種子散布、遺伝子フロー、遺伝的構造を比較し、樹種特性を明らかにする。
- 3) 低地フタバガキ林の皆伐後の更新状況を、伐採前の樹種のデータがある調査地を使い、明らかにする。
- 4) 低地フタバガキ林の二次林化が樹上性小型哺乳類の組成に与える影響を明らかにする。

3. 研究方法

マレーシア半島の丘陵フタバガキ林にあるセマンコック森林保護区とその隣接した林班、および、低地フタバガキ林にあるパソー森林保護区で研究を行った。セマンコック森林保護区に6ヘクタールの調査地(プロットとも呼ぶ)を、隣接した林班の択伐林に4ヘクタールの試験地を設置した(図1)。択伐は1989年に行われた。セマンコック保護林は、狭い尾根に発達した典型的な丘陵フタバガキ林で、フタバガキ科樹種の1種であるセラヤ(*Shorea curtisii*) が優占する。セラヤとは現地名である。

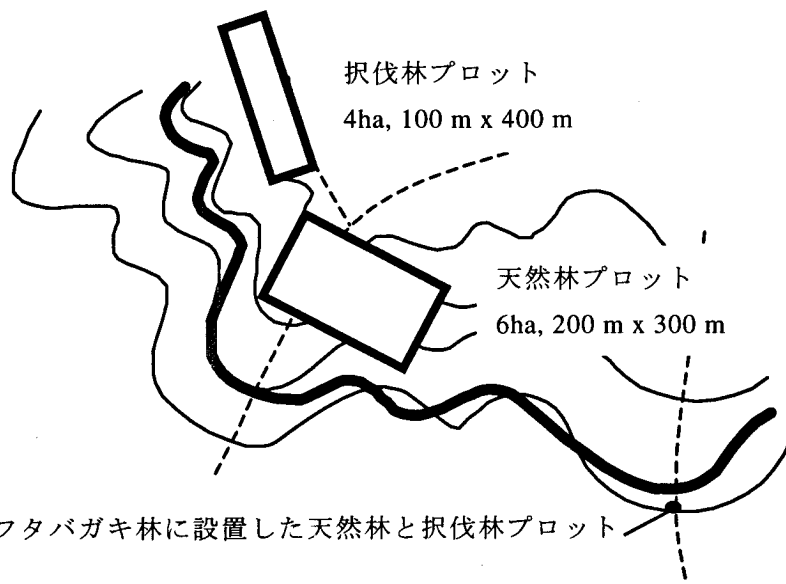


図1. 丘陵フタバガキ林に設置した天然林と択伐林プロット

天然林と択伐林の2つの試験地で胸高直径5 cm以上のすべての個体にナンバーをつけ、胸高周囲

長を測定し、幹の位置を記録した。樹種の同定はすべてマレーシア森林研究所の研究者が行った。毎木調査(胸高直径 5 cm以上のすべての樹木の幹の周囲長の測定と生死の確認)を1993、1995、1997、1999、2001に行った。セラヤの開花記録を現地の調査員を通じて集め、セラヤの開花サイズを調べた。胸高直径5cm以上の個体の全てから葉組織を採取し全DNAの抽出を行った。結実・種子散布後に芽生えた実生も採取し、同様にDNAを抽出した。新しく開発したマイクロサテライトDNAマーカーで4遺伝子座を対象に解析を行った。同様に低地フタバガキ林にあるパソー保護林では *Neobalanocarpus heimii* と *Shorea lepulosula* のDNAを、種子、実生、親木から抽出し花粉親の解析を行った。繁殖単位面積は以下のように計算した (Nanson¹⁾ 1998より)。

$$\text{繁殖単位面積} = \text{全花粉親数} / (\text{調査地内の花粉親数} / \text{調査面積})$$

樹木の個体群では、種子散布や花粉の流動により遺伝的空間構造が生じる。もし強い遺伝的な構造があると、小面積の皆伐や択伐でも遺伝的な多様性が大きな影響を受ける。本研究では低地フタバガキ林に同所的に分布する3種のフタバガキ科樹木 (*Hopea dryobalanoides*、*Shorea parvifolia*、*Shorea acuminata*) の遺伝構造の違いについて6ヘクタールの天然林試験地(図2)で検討した。対象とした3種は種子散布及び繁殖様式に影響していると考えられる平均樹高が異なる。これが果たしてどの程度、遺伝的構造に影響を与えるのかを調査した。集団の遺伝構造を調べるために、DNAのマイクロサテライトマーカーを用いた。それぞれの種について個体間の類縁度と空間距離との関係を計算し、これらの関連を推定した。

低地フタバガキ林の伐採後の更新過程を、1974年に伐採された二次林で調べた(図2)。伐採はIBP(国際生物学プログラム)というマレーシア・日本・イギリスの国際共同研究のバイオマス調査の一貫として伐採されたものである。この部分は伐採前の1973年の樹木の種組成のデータが存在するので、現在の樹種組成と伐採前の樹種組成との比較が可能である。試験地はこの0.2ヘクタール(20 m x 100 m)の伐採地を含むように6ヘクタールの試験とした(図2)。試験地は1994年に設定し、1996、1998、2000、2002年に毎木調査を行った。

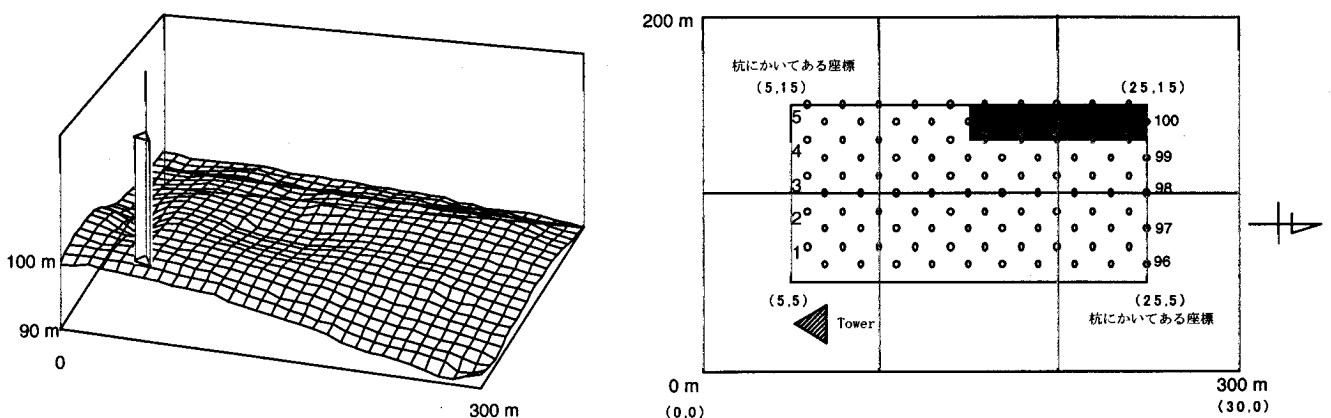


図2. パソー森林保護区に設置した6ヘクタールの試験地.右側の図の中の斜線部分が1974年に伐採された0.2ヘクタール部分。

樹木の種子散布や食害に重要な樹上性小型哺乳類の組成の違いは、パソー保護林の中心に近い

コアエリアの天然林、周囲のオイルパーム林に近いバッファーズーンの天然林、1950年代に択伐を受けた二次林の、計3カ所で、標識再捕法を用い調べた。それぞれの調査区に4ヘクタール(200 m x 200 m)の調査区を設定し、それぞれ、計16個のトラップを地上高、約20 mに設置し、同じ調査努力(142-148 trap-night)の調査を行った。餌はアブラヤシとバナナの果実を用いた。毎月行っている地上でのトラッピングのデータも解析に用いた。この標識再捕法を用い、樹上性小型哺乳類の階層構造の棲み分け仮説を検討した。

4. 結果・考察

丘陵フタバガキ林での一斉開花の際には、天然林、択伐林とも胸高直径50 cm以上の *Shorea curtisii* 個体の多くが開花した(図3、左側)。択伐では、この50 cm以上の母樹になりうる個体サイズのものも集中的に伐採される。そのため択伐林では胸高直径が80 cmから130 cmくらいの個体がほとんど見られなかった(図3、右側)。他のフタバガキ科樹種では、択伐によって光条件が好転し、本来の母樹サイズより小さな個体が開花する現象が知られている。しかし、本研究で対象とした丘陵フタバガキ林の択伐林では、本来の母樹より小さなサイズの個体が開花する現象はほとんど見られなかった。したがって伐採によって失われた母樹の役割を、生長のよい胸高直径50 cm以下の個体が肩代わりすることは期待できない。結果として、伐採により母樹密度が低下した分だけ種子の生産量、遺伝的多様性ともに単純に減少することになる。ただし択伐林では直径生長速度が速く、胸高直径が50 cm以上のサイズクラス(開花サイズ)に移行する確率が天然林より高かったため、今後、母樹密度が少しずつ増加することが期待される。

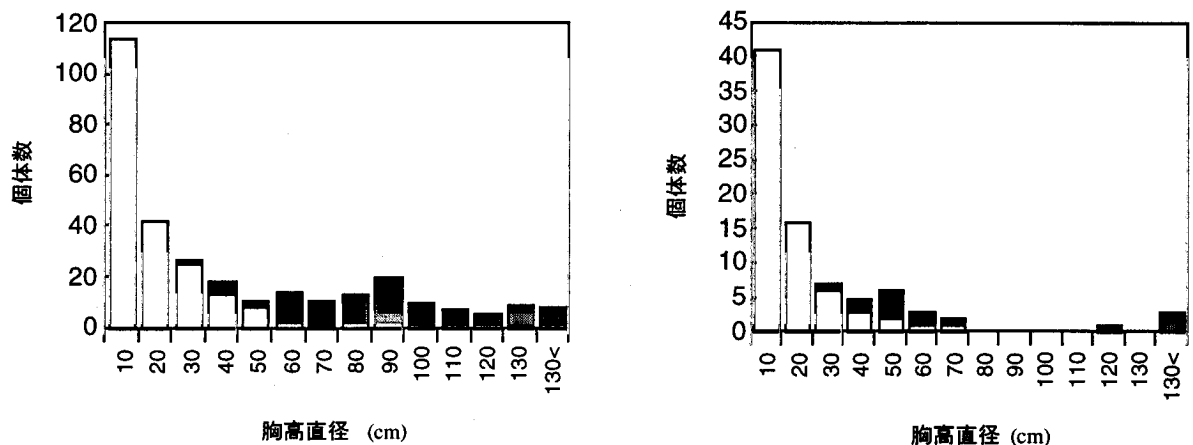


図3.丘陵フタバガキ林の天然林(左図)の *Shorea curtisii* の開花個体(斜線部)と、択伐林(右図)の *Shorea curtisii* の開花個体(斜線部).白抜きは未開花個体。

DNA分析の結果、天然林と択伐林の間では *Shorea curtisii* の他殖率には大きな違いが見られた。天然林の平均他殖率が96%なのに対し、択伐林では52%と、明らかに他殖率が低く、自殖の割合が高いことが示された。この違いは成熟個体の密度および花粉媒介者の行動様式と密接に関連していると考えられる。半島マレーシアのフタバガキ科 *Shorea* 属の送粉はアザミウマの仲間の、飛翔力の弱い昆虫が行っていることが知られている。すなわち択伐林では母樹密度の低下に伴い、

送粉の効率が低下し、多くの母樹が自家受粉を余儀なくさせられていることになる。そこで花粉の実際のフローを見るために母樹に最も近接した個体を候補木として花粉の流動距離の推定を行った。天然林では 1.1m-167.5m の範囲から花粉流動があり、平均は 28.3m であった (図 4、5)。天然林調査区では 3.3% の種子の父親候補がプロット内に見つからなかった。一方、択伐林では 8.0m-363.9m (平均 102.0m) の範囲から花粉の飛散があった(図 4、5)。

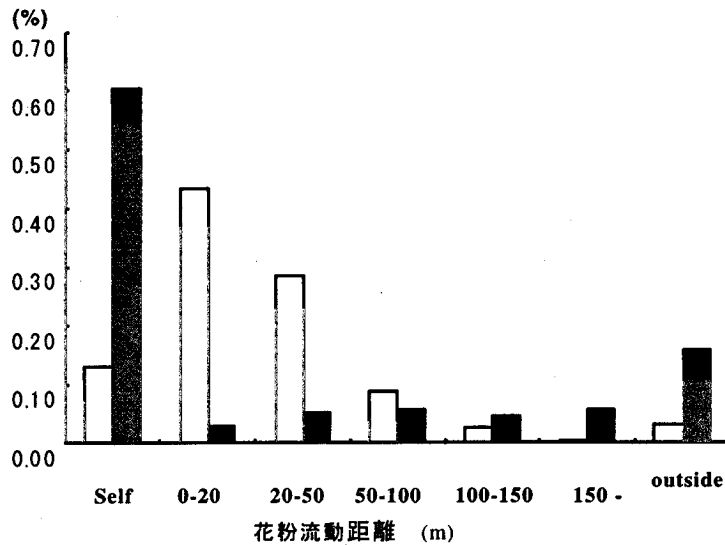


図 4. 天然林（白抜き）と択伐林(灰色)での *Shorea curtisii* 花粉流動距離の比較

天然林と同様に択伐林でも 15.8% の種子についてはプロット内に父親候補が存在しなかった。このように択伐林では母樹密度の低下を補うために花粉の流動距離は増加し、実際、調査区外からの花粉親の割合も択伐林で高かった。しかし、十分な量の他個体の花粉が送粉されず、自殖率が高くなったと推察される。

以上の結果から *Shorea curtisii* の繁殖単位面積を計算すると、天然林(6.3ha)より、択伐林(4.76ha)で狭かった (表 1)。択伐林では母樹密度が天然林より明らかに低く、本来なら

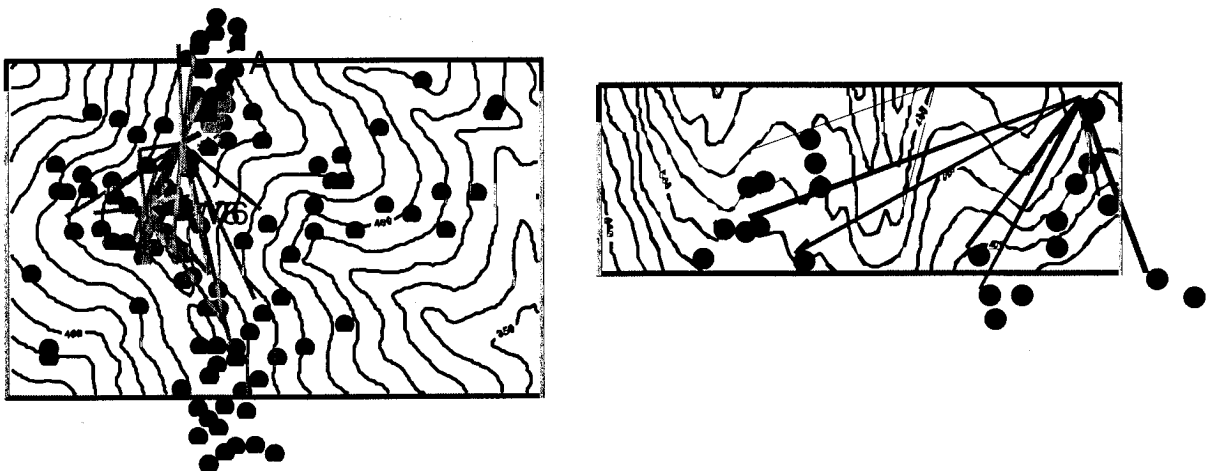


図 5. 丘陵フタバガキ林での花粉流動の例。直線が花粉親との距離を示している。左側が天然林、右側が択伐林での花粉流動の例。

表 1. 熱帯樹種の繁殖特性の比較

種名	森林 タイプ	花粉媒介者	密度(no./ha)	他殖率	繁殖単位面積(ha)
<i>Neobalanocarpus heimii</i>	天然林	ミツバチ類	0.7	0.97	86.3
<i>Shorea curtisii</i>	天然林	アザミウマ、甲虫	18.0	0.96	6.3
<i>Shorea curtisii</i>	択伐林	アザミウマ、甲虫	4.8	0.52	4.8
<i>Pithecellobium elegans</i> *	天然林	スズメガ	0.9	-	63.6
<i>Platygodium elegans</i> *	天然林	小型ハチ類	0.8	-	86.6
<i>Cordia alliodora</i> *	天然林	小型昆虫	20.9	-	24.9
<i>Astrocaryum mexicanum</i> *	天然林	甲虫	1364.0	-	0.1

*Compiled from Nason et al. (1998)

より広範囲の花粉流動を必要とし、繁殖単位面積は広くなるはずである。しかし遠距離の個体からは十分な送粉がおこなわれなため、より空間的に狭い範囲での花粉の交換や、自殖(自分の個体の花粉で受粉してしまうこと)が行われ、結果として算出された繁殖単位面積は択伐林の方が狭くなったと考えられる。

一方、低地フタバガキ林の代表的フタバガキ科樹種である *Neobalanocarpus heimii* の繁殖単位面積を天然林で推定した結果、母樹密度が低い (0.71/ha) にもかかわらず、他殖率が高く、繁殖単位面積は 86.3ha と広がった。この樹種ではミツバチ類によって送粉が効率的に行われているといわれている(表 1)。開花の間隔も *Neobalanocarpus heimii* は毎年のように開花・結実するのに対し、*Shorea curtisii* は 10 年に一度か 2 度、不定期に開花する。このようにフタバガキ科の樹木では、有効な繁殖の単位面積が天然林と択伐林で異なるだけでなく、樹種によっても異なる。また開花の周期や送粉に関わる昆虫の行動も大きく繁殖単位面積に影響することが示唆された。

Neobalanocarpus heimi は、母樹密度が低く (0.71/ha)、母樹と母樹の間が遠いこと、また種子に翼がないため風で散布される可能性は低く、母樹の下にはその母樹の種子しかないことが予想された。しかし、ある母樹の樹冠下で見つかる他の母樹の種子の割合は 16% も観察された(表 2)。一方、種子に翼のある *Shorea lepusula* では、母樹の下に平均して 20% の他の母樹からの種子が散布されていることが DNA の分析で確認された。種子に翼のない *Neobalanocarpus heimi* の種子散布には樹上性の小型哺乳類が関与していた。樹上性の小型哺乳類は *Neobalanocarpus heimii* のように翼のない樹種の種子散布には特に重要で、観察の結果、小型哺乳類が樹冠から運びだした *Neobalanocarpus heimii* の種子の 17% が被食されずに林床で発芽する事が判った。*Neobalanocarpus heimii* の種子は地上に落ちた後、捕食・移動されることはほとんどないことが分かっているので、この種の種子散布には樹上性の小型哺乳類がきわめて重要であることが明らかになった。

この樹上性小型哺乳類の組成はコアエリアの天然林とバッファゾーン天然林と二次林では異なっており、ハイガシラリスと樹上性のネズミ類はコアエリアの天然林でのみ捕獲された(表 3)。

トラッピングで *Callosciurus* 属の 3 種が捕獲されたが、本調査で捕獲された個体の一部は

表2. 母樹ごとの他殖率と他母樹からの種子の割合

種名	母樹	他殖率	他母樹由来種子の割合
<i>Neobalanocarpus heimii</i>	SD1	0.86	0.08
	SD2	0.98	0.06
	SP1	1.00	0.02
	SP2	1.00	0.15
	SP3	1.00	0.48
	平均		0.97
<i>Shorea lepusula</i>	117	0.93	0.16
	196	0.89	0.13
	226	0.52	0.08
	241	0.93	0.32
	256	0.93	0.30
	平均		0.84

過去に地上トラッピングで捕獲された個体であった。その比率はミケリス、ハイイロリス、バナナリスの順で高くなった。種数は、バッファーズーンの二次林（3 種）、バッファーズーンの天然林（4 種）、コアエリアの一次林（5 種）の順に増加した。総捕獲個体数はバッファーズーンの天然林（18 個体）、バッファーズーンの二次林（10 個体）、コアエリアの天然林（9 個体）の順であった。バッファーズーンの天然林は二次林と比較して多様な樹上哺乳類相を有していた。

表3. 異なるハビタットにおける樹上性小型哺乳類の種組成の比較

種名	バッファーズーン(*調査努力)				コアエリア	
	天然林 (142)		二次林 (142)		天然林 (148)	
	個体数	延べ捕獲数	個体数	延べ捕獲数	個体数	延べ捕獲数
樹上性リス						
ミケリス	5	16	2	3	0	0
ワクスジリス	8	20	4	6	2	2
バナナリス	4	10	4	6	4	4
ハイガシラリス	0	0	0	0	1	1
オレンジクサビオモモンガ	1	2	0	0	0	0
樹上性ネズミ類						
ハイイロキノボリネズミ	0	0	0	0	1	1
ヤマネマウス	0	0	0	0	1	1
合計	18	48	10	15	9	9
種数	4		3		5	

*調査努力：一つのトラップを一晩かけた場合、調査努力=1 とする

また、同じ天然林であってもバッファーズーンとコアエリアで種組成が大きく異なることが明らかとなった。以上のことから、樹上性小型哺乳類の多様性は、択抜による森林構造の変化だけでなく、同じ天然林でも保護区の中心部（コアエリア）と周辺部（バッファーズーン）でも異なるこ

とが示唆された。このことは近縁な種間でも森林の階層構造の利用性や森林の孤立・断片化の影響が異なり、様々な森林タイプをすみわけていることを示すと考えられる。特に択伐後の二次林では樹上性小型哺乳類の種組成が変化し、生息密度は半分以下に低下した。これは、択伐によって大径木が切り出され、森林の階層構造が単純化したことが、40年以上を経てもなお小型哺乳類群集に強く影響していることを示唆している。

樹木は花粉の流動や種子散布の結果として、樹種ごとに異なった個体の空間分布を示すだけでなく、遺伝的な空間構造も持っている。本研究では統計的に有意な遺伝構造を *Hopea dryobalanoides* と *Shorea parvifolia* で検出し、*Shorea acuminata* では検出できなかった(図 6)。特に *Hopea dryobalanoides* の遺伝構造は他の種に比べ強い傾向があった。これら3種の種子は重力及び風散布であり、花は小さな昆虫媒である。最も大きな違いは平均樹高で *Hopea dryobalanoides* は亜高木であるが、他の2種 *Shorea parvifolia* と *Shorea acuminata* は高木であり、その違いは約 20m にも達する。これは種子の放出位置が異なり高木ほど種子を遠くまで散布する能力を持っているために、種子散布範囲がこれらの種間で異なることを示唆している。そのため樹高の違いがこれらの遺伝構造の違いに影響を与えたことが考えられる。また *Shorea parvifolia* が *Shorea acuminata* よりも遺伝構造が強かったが、これは2種間での自家不和合性程度の違いで生じたものであるかもしれない。なぜなら *Shorea acuminata* では自家不和合の報告があるからである。もし自家和合性があって、遺伝的に近い種子が母樹の周りに散布されると、遺伝的な空間構造が形成されやすくなる。遺伝的な構造がない種は、花粉の流動も活発に行われ、種子の散布と定着も特定の狭い範囲に限定されていないことを示している。

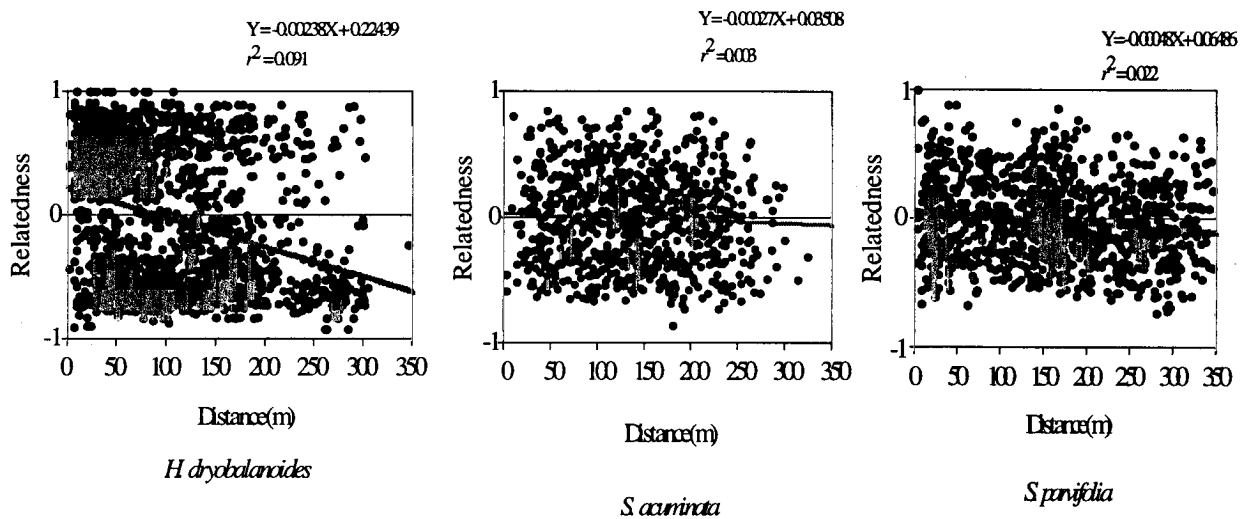


図 6. 低地フタバガキ林のフタバガキ科3種の遺伝的構造。

表 4. 伐採跡地の現在の種組成

No.	Species	Family	Species group*	n	Max.DBH (cm)
1	<i>Melicope glabra</i> (Blume) T.G. Hartley	Rutaceae	MC	26	36.0
2	<i>Endospermum diadenum</i> (Miq.) Airy Shaw	Euphorbiaceae	LS	19	38.6
3	<i>Xylopiya ferruginea</i> (Hook. f. & Thomson) Hook. f. & Thomson var. <i>ferruginea</i>	Annonaceae	MC	19	18.6
4	<i>Macaranga hosei</i> King ex Hook. f.	Euphorbiaceae	P	9	18.1
5	<i>Elaeocarpus stipularis</i> Blume var. <i>stipularis</i>	Elaeocarpaceae	MC	3	28.6
6	<i>Pternandra echinata</i> Jack	Melastomataceae	U	25	10.4
7	<i>Macaranga conifera</i> (Zoll.) M.Arg.	Euphorbiaceae	LS	12	12.1
8	<i>Porterandia anisophyllea</i> (Jack ex Roxb.) Ridl.	Rubiaceae	U	11	11.5
9	<i>Shorea leprosula</i> Miq.	Dipterocarpaceae	E	8	11.5
10	<i>Shorea parvifolia</i> Dyer ssp. <i>parvifolia</i>	Dipterocarpaceae	E	2	17.1
11	<i>Croton argyratus</i> Blume	Euphorbiaceae	U	6	13.9
12	<i>Xylopiya ferruginea</i> (Hook. f. & Thomson) Hook. f. & Thomson var. <i>oxyantha</i> (Hook. f. & Thomson) J. Sinclair	Annonaceae	MC	6	15.3
13	<i>Melicope lunu-ankenda</i> (Gaertn.) Hartley	T.G. Rutaceae	MC	4	15.1
14	<i>Litsea castanea</i> Hook. f.	Lauraceae	MC	4	14.8
15	<i>Lithocarpus curtisii</i> (King ex Hook. f.) Camus	A. Fagaceae	MC	1	18.9
16	<i>Litsea costalis</i> (Nees) Kosterm.	Lauraceae	MC	2	13.5
17	<i>Artocarpus scortechinii</i> King	Moraceae	MC	4	11.2
18	<i>Nephelium cuspidatum</i> Blume var. <i>eriopetalum</i> (Miq.) Leenh.	Sapindaceae	MC	4	12.9
19	<i>Elaeocarpus nitidus</i> Jack var. <i>nitidus</i>	Elaeocarpaceae	MC	1	17.5
20	<i>Mezzettia parviflora</i> Becc.	Annonaceae	MC	2	14.8
	Others			138	17.4
	Total			306	38.6

*Species group: E = emergent, MC = main canopy, U = understorey, P = pioneer, LS = late-seral (Manokaran and Swaine²⁾, 1994)

パソニーの6 ha の試験地の中に1974年に部分的に伐採された二次林(0.2ha)がある。そこでの更新状態をみると、明らかに伐採前(1973)と現在(1996)では種組成が異なっていた(表4、5)。伐倒調査区跡地に特に多い種はやはり先駆樹種と考えられる種で、*Macaranga conifera*、*Macaranga hosei*、*Melicope glabra* など、現在母樹がないがよく更新している種群と、*Pternandra echinata*、*Xylopiya ferruginea*、*Porterandia anisophylla* など埋土種子が存在したと考えられる種群とがあった(表4)。伐採区のフタバガキ科のほとんどの個体はまだ胸高直径が15cm以下なのに対し、個体数の多い先駆樹種は20cmを越える個体も多く見られた。伐採区の種組成は明らかに周辺の種組成とは異なり、回復には相当の年数が必要であろう。*Shorea leprosula* は8個体が既に胸高直径5cmを越えていたが *Neobalanocarpus heimi* は胸高直径5cmを越えた個体は1個体もなかった(表4)。

表 5. 伐採前の種組成

No.	Species	Family	Species group*	n	Max.DBH (cm)
1	<i>Koompassia malaccensis</i> Maing. ex Benth.	Leguminosae	E	1	100.9
2	<i>Dipterocarpus cornutus</i> Dyer	Dipterocarpaceae	E	5	77.6
3	<i>Ganua</i> sp.A	Sapotaceae		8	32.8
4	<i>Mesua</i> sp.	Guttiferae		1	65.6
5	<i>Nephelium ramboutan-ake</i> (Labill.) Leenh.	Sapindaceae	MC	2	53.2
6	<i>Pentaspadon motleyi</i> Hook. f.	Anacardiaceae	MC	2	57.9
7	<i>Sindora</i> sp.	Leguminosae		1	59.8
8	<i>Neoscortechinia kingii</i> (Hook. f.) Pax & K. Hoffm.	Euphorbiaceae	MC	2	52.5
9	<i>Syzygium hoseanum</i> (King) Merr. & L.M. Perry	Myrtaceae	U	2	42.0
10	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae		1	45.7
11	<i>Sarcotheca griffithii</i> (Planch. ex Hook. f.) Hallier f.	Oxalidaceae	MC	1	44.8
12	<i>Lansium domesticum</i> Correa	Meliaceae	U	4	34.1
13	<i>Shorea macroptera</i> Dyer	Dipterocarpaceae	E	1	40.7
14	<i>Shorea dasyphylla</i> Foxw.	Dipterocarpaceae	E	1	38.3
15	<i>Ryparosa wallichii</i> Ridl.	Flacourtiaceae	U	1	38.1
16	<i>Shorea pauciflora</i> King	Dipterocarpaceae	E	1	37.9
17	<i>Gymnacranthera farquhariana</i> (Hook. f. & Thomson) Warb. var. <i>eugeniifolia</i> (A. DC.) R.T.A.Schout	Myristicaceae	MC	1	37.2
18	<i>Pimelodendron griffithianum</i> (Mull Arg.) Benth.	Euphorbiaceae	MC	1	37.0
19	<i>Shorea multiflora</i> (Burck) Symington	Dipterocarpaceae	E	2	32.2
20	<i>Dialium procerum</i> (Steenis) Steyaert	Leguminosae	MC	3	33.0
	Others			81	35.8
	Total			122	100.9

*Species group: E = emergent、 MC = main canopy、 U = understory、 P = pioneer、 LS = late-seral (Manokaran and Swaine²⁾、 1994)

伐採以前の優占種はこの付近の低地フタバガキ林を代表する、マメ科の *Koompassia malaccensis* やフタバガキ科の *Dipterocarpus cornutus* などであった。上位 20 種を比較すると (表 4、5)、樹種は完全に異なっており、伐採後 20 年以上を経過しても、種組成は全くといっていいほど回復していないことを示している。もちろん熱帯林はきわめて種の多様性が高いので、同じ種組成に完全に戻ることは期待できないが、小面積の皆伐でも、これだけの種組成の変化を引き起こすことは熱帯林の二次林の持続的管理を考える上できわめて重要な事実である。

以上述べてきたように同じフタバガキ科の樹種でも、母樹密度、種子散布様式と距離、花粉流動に伴う繁殖単位面積の大きさ、二次林での更新可能性に大きな違いがあることが明らかになった。したがって、熱帯林の二次林化や分断化に対する反応も樹種ごとに異なることが予想される。また単に繁殖面積だけでなく他殖率の低下による遺伝的多様性の変化も択抜の影響として十分考

慮する必要がある。また伐採による二次林化の影響は、開花密度や花粉流動距離だけでなく、重要な種子散布者である樹上性小型哺乳類の組成や行動にも森林構造の変化を通じて影響を与えていた。このような植物と動物との相互作用系が維持されて、はじめて熱帯林の持続的管理が可能になる。熱帯林の持続的管理のためには、伐採本数や伐採下限サイズの再検討、森林構造へのインパクトを軽減する伐採・搬出技術など、一層の努力が必要である。

5. 本研究により得られた成果

マレーシア熱帯林の主要樹種であるフタバガキ科を代表する *Neobalanocarpus heimii* と *Shorea curtisii* の繁殖単位面積を天然林と択伐林で明らかにし、熱帯林の持続的管理のための最小面積の算出の基礎となる繁殖単位面積の値を提出した。*Shorea curtisii* では他殖率の低下にともなう繁殖単位面積の減少が明らかになり、花粉媒介者の違いを含む繁殖様式と遺伝的多様性を考慮した熱帯林の持続的管理が一層、重要であることが明らかになった。小面積の皆伐であっても、更新後の二次林の樹種組成は劇的に変化し、20年を経過しても優占種は全く異なっていることが明らかになった。また翼のない種子の散布に樹上性小型哺乳類が重要であること、すなわち植物と動物との相互作用系が維持されて、はじめて熱帯林構成樹種の更新と遺伝的多様性が維持されることが明らかになった。このような植物-動物の相互作用系は重要な森林のエコロジカルサービスのひとつである。

6. 引用文献

- 1) Nason, J.D., Herre, E.A., Hamrick, J.L. 1998. The breeding structure of a tropical keystone plant resource. *Nature* 391:687-689.
- 2) Manokaran, N. & Swaine, M.D. 1994. Population dynamics of trees in dipterocarp forests of Peninsular Malaysia. *Malayan Forest Records*. No. 40. Forest Research Institute Malaysia.

[国際共同研究の状況]

この研究はすべてマレーシア森林研究所との共同研究により行なわれた。

カウンターパート: Abd. Rahman Kassim, R. Azizi, S. Appanah, Lee Chai Ting, Lee Soon Leon, Nor Azman Hussein である。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① K.Niiyama, K.Abd. Rahman, S.Iida, K.Kimura, R.Azizi, S.Appanah. *Journal of Tropical Forest Science* 11: 731-745 (1999). Spatial patterns of common tree species relating to topography, canopy gaps and understorey vegetation in a hill dipterocarp forest at Semangkok forest reserve, Peninsular Malaysia.
- ② K.Niiyama, K.Abdul Rahman, K.Kimura, T.Tange, S.Iida, E.S.Quah, Y.C.Chan, R.Azizi, S.Appanah. *Research Pamphlet*. No. 123. Forest Research Institute Malaysia (1999). Design and methods for the study on tree demography in a hill dipterocarp forest at Semangkok forest reserve, Peninsular Malaysia.

- ③ Yasuda, M., Matsumoto, J., Osada, N., Ichikawa, S., Kachi, N., Tani, M., Okuda, T., Furukawa, A., Abdul Rahim Nik, N. Manokaran. *Journal of Tropical Ecology* 15:437-449 (1999). The mechanism of general flowering in Dipterocarpaceae in the Malay Peninsula.
- ④ Yasuda, M., Miura, S. & Nor Azman Hussein. *Journal of Tropical Forest Science* 12:164-173 (2000). Evidence for food hoarding behavior in terrestrial rodents in a Malaysian lowland rainforest, Pasoh Forest Reserve.
- ⑤ Iwata, H., A. Konuma, and Y. Tsumura. *Molecular Ecology* 9:1684-1685 (2000). Development of microsatellite markers in the tropical tree *Neobalanocarpus heimii* (Dipterocarpaceae).
- ⑥ Kominami, Y., Tanouchi, H., Tanaka, H. and Katsuki, T. *Journal of Tropical Forest Science* 12 (2) : 247-255. (2000) Light conditions, canopy conditions and microtopographies in the microsites of *Shorea curtisii* saplings in a hill dipterocarp forest of the Semangkok forest reserve, Peninsular Malaysia.
- ⑦ Konuma A., Tsumura Y., Chai Ting Lee, Lee Soon Leong and Okuda T. *Molecular Ecology* 9: 1843-1852 (2000). Estimation of gene flow inferred from paternity analysis in tropical rain forest tree: *Neobalanocarpus heimii* (Dipterocarpaceae).
- ⑧ 安田雅俊. 北海道大学出版会 pp.61-74 (2000).マレーシア半島の熱帯低地雨林に果実- 果実食者の関係を探る. 『森の自然史』 (菊沢喜八郎,甲山隆司編)
- ⑨ 安田雅俊.科学 71:20-229(2001) 一斉開花の謎- 気候変動がもたらす熱帯雨林の変調- .
- ⑩ Nagamitsu, T., Ichikawa, S., Ozawa, M., Shimamura, R., Kachi, N., Tsumura, Y and Norwati Muhammad. *International Journal of Plant Science* 162: 155-159 (2001) Microsatellite analysis of the breeding system and seed dispersal in *Shorea leprosula* (Dipterocarpaceae)
- ⑪ Obayashi, K., Tsumura, Y., Ihara-Ujino T., Niiyama, K., Tanouchi, H., Suyama, Y., Washitani, I., Lee, C.T., Lee, S.L., and Norwati Muhammad. *International Journal of Plant Science* 163:151-158. (2002) Genetic diversity and outcrossing rate between undisturbed and selectively logged forests of *Shorea curtisii* (Dipterocarpaceae) using microsatellite DNA analysis.

(2) 口頭発表

- ① 新山馨、田内裕之、飯田滋生、Abd. Rahman K., Azizi, R. S. Appanah. : 第47回日本生態学会 (1999). 丘陵フタバガキ林の優占種、*Shorea curtisii* の個体群構造と動態.
- ② 大林恭子、陶山佳久、津村義彦、宇治野徳子、永光輝義、新山馨、田内裕之、鷲谷いづみ、Lee Chai Ting、Lee Soon Leon. : 第47回日本生態学会 (1999). *Shorea curtisii* 天然林および択伐林における遺伝子流動の推定.
- ③ 安田雅俊、沼田真也、可知直毅、奥田敏統、石井信夫、Nor Azman Hussein : 第9回日本熱帯生態学会 (1999). フタバガキ科種子の散布前捕食と被食防衛.
- ④ 安田雅俊、Nor Azman Hussein. : 1999年度日本哺乳類学会 (1999). 樹間部におけるトラッピング手法の開発と熱帯雨林における応用.
- ⑤ 安田雅俊、三浦慎悟 : 第47回日本生態学会 (2000). 去るけもの、来るけもの. 自由式シンポジウム “熱帯林で木を切ると : 択伐40年後の森の姿と生き物たち” .
- ⑥ 安田雅俊、Nor Azman Hussein. : 第45回日本生態学会 (2000). リスは熱帯雨林の階層構造を棲み分けるか.

- ⑦ Abd.Rahman Kassim, K.Niiyama, Azizi R., S.Appanah and S.Iida. : XXI IUFRO World Congress 2000. Abstracts of group discussions vol.2. (2000). Species assembly and site preference of tree species in a primary Seraya-ridge forest in Peninsular Malaysia.
- ⑧ Ichikawa S., Kachi N., Tani M., Sasaki S., Niiyama K., Yasuda M., Tang Y., and Manokaran N. : XXI IUFRO World Congress 2000. Poster abstracts vol.3. p 478. (2000). Ecology of wind dispersal of fruits of dipterocarp species in Pasoh Forest Reserve.
- ⑨ Niiyama K., Abd. Rahman Kassim, H. Tanouchi, S.Iida, K.Kimura, Azizi R., S.Appanah. : XXI IUFRO World Congress 2000. Poster abstracts vol.3. p 480. (2000). Comparisons of tree species diversity, composition, and population structures between primary and regenerating forest plots in a hill dipterocarp forest.
- ⑩ Takeuchi Y., Konuma A., Tsumura Y., Tomaru N., Muhammad N., and Lee S.L. : International symposium "Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest", Sarawak, Malaysia. p25. 2001.
- ⑪ Tsumura Y., Kawahara T., Ujino, T., Nagamitu T., Yoshimaru H., Norwati Muhammad, Chai-Ting Lee and Lee Soon Leong : XXI IUFRO World Congress 2000. Poster abstracts vol.3. p 483. (2000). Logging effect for genetic diversity of *Shorea curtisii* forest in the hill dipterocarp forest of Peninsular Malaysia.
- ⑫ 安田雅俊・三浦慎悟. : 2000年度日本哺乳類学会大会講演要旨集(大阪). p.43. (2000). 自動撮影法の熱帯群集生態学への応用. ミニシンポジウム“自動撮影-哺乳類研究における可能性を探る”.
- ⑬ Yasuda, M., Miura, S., Nor Azman Hussein : 3rd International Symposium-Workshop on Frugivores and Seed Dispersal (Sao Pedro, Brasil) p 284. (2000). Evidence for food hoarding behaviour in terrestrial rodents in a Malaysian lowland rain forest.
- ⑭ 竹内弥生・戸丸信宏・小沼明弘・津村義彦・Muhammad, N., Lee, S.L. : 第48回日本生態学会(2001). 熱帯樹種3種における遺伝構造の比較.
- ⑮ 内藤洋子・陶山佳久・清和研二・奥田敏統・Lee, S.L., Norwati M・小沼明弘・津村義彦 : 第48回日本生態学会(2001). *Neobalanocarpus heimi* (フタバガキ科)におけるマイクロサテライト多型を用いた繁殖機構の分析.
- ⑯ 小沼明弘・内藤洋子・津村義彦・Lee, S.L., Norwati M・奥田敏統 : 第49回日本生態学会(2002) *Neobalanocarpus heimii* (Dipterocarpaceae)における繁殖時期と交配距離の関係
- ⑰ 安田雅俊 : 第49回日本生態学会(2002) 東南アジア熱帯林における一斉開花情報ネットワークの必要性
- ⑱ 内藤洋子・小沼明弘・岩田洋佳・陶山佳久・清和研二・奥田敏統・Lee, S.L., Norwati M・津村義彦 : 第49回日本生態学会(2002) *Neobalanocarpus heimi* におけるマイクロサテライトマーカーを用いた繁殖様式及び近交弱勢の評価

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本サブテーマ代表者は、JICA マレーシア熱帯早生郷土樹種造林に関わるプロジェクトの国内委員であり、本研究の成果を基に、この海外協力事業案件に対し提言や助言を行っている。