

東南アジアのフタバガキ樹木の遺伝的保全

1. はじめに

東南アジア熱帯林は種多様性が高く生物種の宝庫だと言われている。この多様な生物相の森林も人間活動の影響から逃れることができず減少の一途をたどっている。これらの森林の保全のために様々な活動が行われているが、その中で東南アジア熱帯林の中で優占し、林業的にも重要なフタバガキ科樹木の遺伝的保全のための研究とその成果をここに紹介し、熱帯林をどのように保全すれば遺伝的に健全な森林が維持できるかを述べたい。

2. フタバガキ林における花粉と種子の動き

(1) マイクロサテライトマーカー

近年、分析技術の進歩により個体を正確に識別できるマイクロサテライトと呼ばれるDNAマーカーが開発されている。マイクロサテライトマーカーとは真核生物のゲノム中に散在する単純繰り返し配列のことで、ヒトでも父親判定や血縁関係の調査に用いられているマーカーである(種生物学会 2000)。この塩基の反復配列数が個体によって異なり、変異性が高いために個体識別によく用いられている。このマイクロサテライトマーカーは、多くの生物種で開発されている。フタバガキ科樹木でも複数種でこのマーカーが開発され、花粉流動範囲や種子の散布範囲などの調査に用いられている。フタバガキ科では *Shorea curtisii*, *Neobalanocarpus heimii*, *S. lepurosula*, *Hopea bilitonensis*, *S. lumutensis*, *Dipterocarpus tempehens*, *Dryobalanops lanceolata* の7種でマイクロサテライトマーカーが開発されている。これらのマーカーは近縁種には応用が可能であることが多いためよく利用されている(Takaeuchi *et al.* 2003)。

(2) フタバガキ科樹木の交配様式

これまでアロザイムマーカー(基質特異性を同じくする酵素種の分子多型)を用いて交配様式の推定が複数のフタバガキ科の種で調査されてきた(表1)。その結果、フタバガキ科は自然な状態では比較的高い他殖率(80%以上)を示すことが明らかになっている(Tsumura *et al.* 2003)。また種によっては択伐林では自殖率が高くなるものもある。*S. curtisii* でマイクロサテライトマーカーを用いて天然林と択伐林で交配様式の違いを

Yoshihiko Tsumura : Overseas Forest Tree Breeding and Genetic Resources (6)
Genetic Conservation of Dipterocarp Species in Southeast Asia
(独)森林総合研究所森林遺伝研究領域

表 1 フタバガキ科樹木の他殖率

樹種名	森林タイプ	他殖率 (%)	文献
<i>Stemonoporus oblongifolius</i>	天然林	89.8	Murawski and Bawa 1994
<i>Dryobalanops aromatica</i>	天然林	85.6	Kitamura <i>et al.</i> 1994
	択伐林	79.4	
<i>Dryobalanops aromatica</i>	天然林	92.3	Lee 2000
	択伐林	76.6	
<i>Shorea congestiflora</i>	天然林	87.4	Murawski <i>et al.</i> 1994
<i>Shorea megistophylla</i>	天然林	86.6	Murawski <i>et al.</i> 1994
	択伐林	71.3	
<i>Shorea trapezifolia</i>	天然林	61.7	Murawski <i>et al.</i> 1994
<i>Shorea leprosula</i>	天然林	84.0	Nagamitsu <i>et al.</i> 2001
<i>Shorea leprosula</i>	天然林	83.7	Lee <i>et al.</i> 2000
<i>Shorea curtisii</i>	天然林	96.3	Obayashi <i>et al.</i> 2002
	択伐林	52.2	

調査した結果、他殖率に大きな違いがあることが明らかとなっている (Obayashi *et al.* 2002)。この択伐は 1988 年に総材積の約 30% の強度で行なわれている。現時点では天然林及び択伐林での *S. curtisii* の成木密度 (胸高直径 30 cm 以上) はそれぞれ 26.3 本/ha, 4.3 本/ha である。このように択伐により個体密度が低下したために、花粉媒介者が花粉を運ぶことができないことによる外来花粉不足により択伐林で自殖割合が増加したと考えられる。一方、*Dryobalanops aromatica* では択伐の影響はほとんどなく、天然林と択伐林での他殖率は同じように高い値を示した (Kitamura *et al.* 1994)。この違いは主な花粉媒介者の違いによると考えられ、*Shorea curtisii* ではアザミウマ、*Dryobalanops* ではオオミツバチなどによるためである。そのため、種によって高い他殖率を維持するための適切な個体密度が異なり、将来にわたって持続的な林業経営のためには、この適切な個体密度をそれぞれの種で把握する必要がある。これはその地域で利用可能な花粉媒介者と密接に関連しているため、昆虫相の情報も重要である。

(3) 有効な花粉の飛散範囲

マイクロサテライトマーカーは花粉流動を把握するために最も有効な DNA マーカーであると考えられている。このマーカーを利用して花粉の有効な飛散範囲を特定することができる。

マレー半島パソ森林保護区 36 ha の 5 母樹の *N. heimii* 周辺で採取した実生及び若木を用いて遺伝子流動を調査した結果、400 m 以上の遠方からも花粉が運ばれていることが明らかになった (Konuma *et al.* 2000)。また種子も捕食者により二次散布されているようで、母樹と遺伝子型が合わないものもみられた。

丘陵フタバガキ林の *S. curtisii* の天然林と択伐林で遺伝子流動がどのように異なるか

を調査した結果、天然林では母樹の近隣の半径 100 m 以内から花粉が来ていることが明らかになった（未発表データ）。また択伐林ではかなり遠方からも花粉が運ばれている例も少数あったが、自殖が多く見られた。このように個体密度と花粉媒介者によって花粉流動が大きく異なることもある。またこの履歴の異なる二つの森林で遺伝的多様性がどのように変化しているのかを調査した結果、成木及び若木レベルでは有意な差は見られなかった。しかし、花粉の父親数には有意な違いがみられ、遺伝子流動が制限される択伐林では将来遺伝的多様性が減少する可能性が示唆された。

(4) 種子の散布範囲

花粉の拡散が小さい場合、それぞれの母樹の周辺には遺伝的に近縁な個体が集まった状態が形成される。いわゆる遺伝的なパッチ構造が林内にできることになる。これを空間遺伝的構造があると表現する。これらは現存する個体の複数の遺伝子座での遺伝子型データを取ることによって調査することができる。樹木種では種子の散布範囲がこの空間遺伝構造の強弱に影響を与える。フタバガキ科 3 種 (*Shorea acuminata*, *Shorea parvifolia*, *Hopea dryobalanoides*) の空間遺伝構造を調べた例では、対照的な結果が得られている (Takeuchi *et al.* 2003)。*S. acuminata* では空間遺伝構造がなく、他の 2 種の *S. parvifolia* と *H. dryobalanoides* では空間遺伝構造が検出され、*S. parvifolia* では弱い空間遺伝構造が、*H. dryobalanoides* では強い空間遺伝構造がそれぞれ存在することが明らかになっている。特に *H. dryobalanoides* で強い構造が見られたのは、他の *Shorea* 2 種は林冠を形成する高木であるが、*Hopea* は亜高木であり種子の分散範囲が小さいことが主因であると考察している。また 2 種の *Shorea* での遺伝構造の違いは、*S. acuminata* は自家不和合性があることがわかっており、このために近親交配が妨げられ遺伝構造が弱まる結果となったと推察している。このように形態的、生理的な特徴の違いが遺伝構造にも影響を与えることが明らかになってきている。

(5) 近交弱勢

マレー半島のパソ森林保護区 40 ha プロットで *N. heimii* の近交弱勢の調査を行った。母樹別に収集した種子とそれらの実生では、自殖の割合が種子の段階で高く実生で低くなっていた (図 1, Naito *et al.* 2005)。これは自殖してできた種子の多くが近交弱勢のため発芽できないことが原因であることが考えられる。また母樹別の種子の重さを測定し、マイクロサテライトマーカーで自殖種子と他殖種子に分けた。その結果、全ての母樹で自殖種子の方が他殖種子に比べて軽いことが明らかとなった (図 2, Naito *et al.* 2005)。これは種子の発育段階でも近交弱勢が起こっていることを示唆しているデータである。また実生から若木に至る段階でも、自殖個体が徐々に減少していくことも明らかになっている (Konuma *et al.* 2000)。これらのことは近交弱勢が種子の発育段階から若木に成長する全ての段階で生じており、最終的にはほとんどの自殖由来の個体は死滅することを示している。そのため自殖が起こらないような適切な母樹密度が必要である。

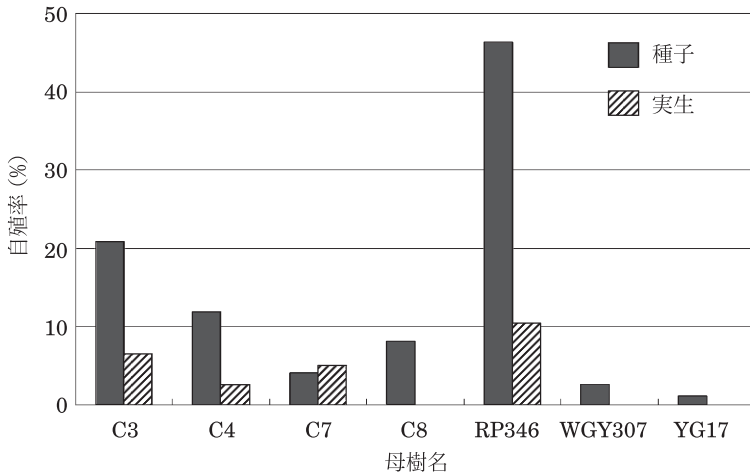


図 1 バン森林保護区の *Neobalanocarps heimii* の 7 母樹での種子及び実生段階での自殖の割合 (Naito *et al.* 2005)

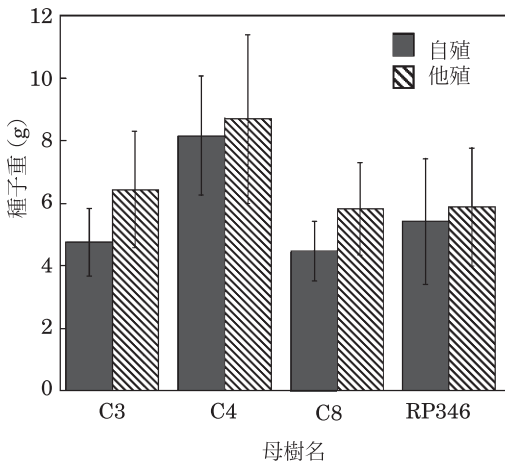


図 2 バン森林保護区の *Neobalanocarps heimii* の 5 母樹での他殖及び自殖由来の種子重 (Naito *et al.* 2005)

3. 択伐または保全のための遺伝的ガイドライン

(1) 適切な個体密度

マイクロサテライトマーカーを用いた花粉流動と交配様式の調査から、フタバガキ科樹木は種ごとに適切な開花個体密度があることが明らかになってきた。それには、花粉媒介者が主要な働きを行っていることも明らかであるため、種ごとに主な花粉媒介者を特定する必要がある。これが特定されると、それぞれの種での母樹の適正な個体密度がある程度把握される。その結果、全ての種でマイクロサテライトマーカーを用いた遺伝子流動や交配様式の調査を行うことなく、適正な個体密度を決めることができるかもしれない。

また遺伝的ガイドラインの実際への適応にはスケールアップ技術も必要になってくるであろう。現段階では難しいが、衛星データの解析で樹種の識別まで可能になれば、全ての森林において個体密度のデータが得られ保全も容易になる。将来の衛星データ解析の技術開発に期待したいところである。

(2) 森林の断片化の影響

熱帯林だけでなく世界の森林は開発により断片化してきている。これは集団を孤立化させ、集団間の遺伝子流動を大きく制限することになる。孤立化集団がある程度の大きさがあり、種ごとの母樹密度もある程度あれば、遺伝的多様性の減少も抑えられることも考えられる。しかし、実際には小集団化し、大きな集団でもその林縁は環境変化の影響を受けやすくなり、それらの保全には異なったアプローチが必要になるであろう。理想的には保全すべき小集団化した森林は、なるべくコリドーで結び動物、昆虫の往来が可能にする。このことにより種子及び花粉の移動も可能となり遺伝的多様性の減少もある程度防ぐことができるかもしれない。また大きな集団の保全には林縁部を緩衝地帯にするなどのゾーニングが必要になるであろう。この緩衝地帯の幅の決定にも種ごとに測定した遺伝子流動のデータを用いることができる。現段階では適切な森林の保全は難しい課題である。周辺の環境の変化、社会状況の変化などを考慮しながら、その時点で最新のデータを用いながら適切な保全施策を立てていくべきである。

〔引用文献〕 1) Kitamura, K. *et al.* (1994) Estimation of the outcrossing rate on *Dryobalanops aromatica* Gaertn. f. in primary and secondary forests in Brunei, Borneo, Southeast Asia. *Plant Species Biology* 9: 37-41. 2) Lee, S.L. (2000) Mating system parameters of *Dryobalanops aromatica* Gaertn. F. (Dipterocarpaceae) in three different forest types and a seed orchard, *Heredity* 85: 338-345. 3) Lee, S.L. *et al.* (2000) Mating system parameters in a tropical tree species, *Shorea lepurosula* Miq. (Dipterocarpaceae) from Malaysian lowland dipterocarp forest. *Biotropica* 32: 693-702. 4) Murawski, DA and KS Bawa (1994) Genetic structure and mating system of *Stemonoporus oblongifolius* (Dipterocarpaceae) in Sri Lanka. *American Journal of Botany* 81: 155-160. 5) Murawski, D.A. *et al.* (1994)

◎熱帯林業講座◎

The effect of selective logging on inbreeding in *Shorea megistophylla* (Dipterocarpaceae) from Sri Lanka. Conservation Biology 8 : 997-1002. 6) Obayashi, K. *et al.* (2002) Genetic diversity and outcrossing rate between undisturbed and selectively logged forests of *Shorea curtisii* (Dipterocarpaceae) using microsatellite DNA analysis. International Journal of Plant Science 163 : 151-158. 7) 種生物学会 (編) 2001. 森の分子生態学, pp. 319, 文一総合出版. 8) Takeuchi, Y. *et al.* (2004) Comparison of the fine-scale genetic structure of three dipterocarp species. Heredity 92 : 323-328. 9) Tsumura, Y. *et al.* (2003) Mating system and gene flow of Dipterocarps revealed by genetic markers. Pasoh -Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia, pp. 285-292. Springer-Verlag, Tokyo.



“熱帯林業”誌発行および投稿規定

- ・本誌は海外林業研究会会員並びに海外における森林・林業（林産業を含む）に関係する事業に参画あるいは関心のある方々に、海外の森林・林業に関わる広範な情報を提供することを目的とする。また、本誌は林野庁の補助金による国際林業協力情報事業の一環としても発行している。
- ・本誌への投稿原稿は、本誌発行目的に沿った内容であると本誌編集委員会が判断する、一般海外森林・林業記事、森林・林業に関わる国際会議やシンポジウム等の案内・報告、熱帯林業講座（技術解説）、その他（図書紹介、会員の広場等）などに限る。また、本誌は、“熱帯林業”と称しているが、国際的に重要な問題であれば、温帯林や北方林の話題についても掲載できる。
- ・投稿者の資格は特に規定しないが、海外林業研究会の会員の投稿は優先的に採用する。
- ・本誌は年3回（1月、6月、9月）に発行する。発行月の2ヶ月前までに受理された原稿の中から編集委員会で掲載原稿を決定する。
- ・本誌掲載原稿の著作権は国際緑化推進センターに属する。
- ・本誌編集事務局は国際緑化推進センターに置く。
- ・投稿者は執筆要領（本誌92頁）にそって原稿を仕上げ、“熱帯林業”事務局に送付する。（送付先住所等は92頁の執筆要領に記す。）