

東南アジア熱帯林で重要なフタバガキ科の樹種の遺伝的特性を解明し、 気候変動が進んだ将来は分布適地が拡大すると予測

東南アジア・ボルネオ島の主要な樹木でフタバガキ科の *Shorea macrophylla* (和名・オオバサラノキ) の遺伝的地域性と将来の分布適地を調査したところ、ボルネオ島東北部の集団が起源的だと分かりました。また、気候変動の進展に伴いこの樹種の分布適地は拡大すると予測されました。

フタバガキ科樹種で Tengkwang と呼ばれ、その種子から上質な油脂が採取できる種があります。Tengkwang の仲間で、ボルネオ島の固有種である *Shorea macrophylla* は種子が大きく高木になります。このため、種子からの油脂採取に加え、木材としても利用が可能で、植林も行われている重要な樹種となっています。

本研究では、*S. macrophylla* のボルネオ島のインドネシア領（カリマンタン）の天然林集団を対象に、2 種類の DNA マーカー（一塩基多型（SNP）とマイクロサテライト（SSR））を用いてそれらの集団のゲノム全体を網羅的に解析し、遺伝的多様性と遺伝的地域性を調べました。その結果、どちらの DNA マーカーでも、ボルネオ島東北部、中部と南西部の集団が、それぞれ異なる遺伝的地域性を保有していることが分かりました。中でもボルネオ島東北部の集団は、集団内の遺伝的多様性も高く、*S. macrophylla* の起源的な集団であると考えられました。

このことから、*S. macrophylla* の保全には、異なる遺伝的地域性を持つこれら 3 集団をそれぞれ別の管理単位として保全していくことが適切であると言えます。また、気候変動が進んだ 2070 年の分布適地を予測したところ、*S. macrophylla* の分布適地が拡大することが分かりました。この結果からも、*S. macrophylla* の植林では、三つの管理単位のそれぞれで苗木を生産し、それぞれの遺伝的な要素が混合しないような植林活動を行うことが推奨されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

津村 義彦 名誉教授

研究の背景

東南アジア各国は天然林の択伐ルールを設けていますが、オイルパーム林への転換などで減少が続いています。また、気候変動も熱帯林減少の大きな要因となります。残っている天然林をいかに保全し、将来に向けて持続的に活用するかが重要な課題です。

フタバガキ科は東南アジア熱帯林で生態的にも林業的にも最も重要な樹種です。その中でも Tengkwang と呼ばれる樹種は、チョコレートや石鹸、化粧品などに使われる上質な油脂が種子から採取できます。*Shorea macrophylla* はボルネオ島固有の Tengkwang です。種子が大きいうえに、高木になるので、油脂の採取だけでなく木材としても利用可能で、植林も行われています。この樹木を将来にわたって保全し、持続的に利用することが生態系の保全と地域住民の生活のためにも重要な課題です。

同じ種でも種内に幾つかの遺伝グループが存在することが一般的です。これは、生育環境により適応した遺伝グループが、自然淘汰などによって残った結果だと考えられています。そのため、本研究ではカリマンタンの *S. macrophylla* の天然集団の遺伝的多様性や遺伝的地域性を調査するとともに、気候変動による将来の分布適地推定を行い、この種をどのように保全して今後の利用につなげるかを検討しました。

研究内容と成果

本研究では、ボルネオ島の東北部、中部、南西部の3地域に分布する合計7集団の *Shorea macrophylla* の天然林からサンプルを採取し、SNP^{注1)} と SSR^{注2)} の2種類のDNAマーカーを用いてゲノム全体を分析しました(図1)。

その結果、遺伝的多様性、遺伝的地域性、各遺伝グループの分岐年代は、2種類のDNAマーカーで類似していました。遺伝子座数の多いSNPの方が相対的に精度良く推定ができていました。一方で、遺伝的多様性に特徴のある集団の検出には、遺伝子座ごとの多型性が高いSSRも非常に有効であることも確認できました。どちらのDNAマーカーでも、今回調査対象としたボルネオ島東北部、中部と南西部の集団がそれぞれ異なる遺伝的地域性を保有していることが分かりました(図2)。また、これらの遺伝グループの分岐年代は約22万年前だと推定されました。このうちボルネオ島東北部は、最終氷期に生物が寒さを避けるための逃避地となっていたとされますが、その地域の集団は遺伝的多様性も高く、*S. macrophylla* の起源的な集団であると考えられました。

遺伝的に有意に異なる天然集団は歴史的な進化に基づいて形成された集団であるため、進化的な経緯を無視して人為的に混合することなく管理すべきだと言われています。この考え方に従うと、この種の保全のためには、それぞれの集団ごとに三つの管理単位を設けて保全することが適切だと考えます。

また、生き物の実際の分布情報や環境情報などを統計的に処理する種分布モデル^{注3)}を用いた解析によれば、最終氷期最寒冷期(2万2000年前)や間氷期(1万2000年前)では *S. macrophylla* の分布は極端に縮小していました。一方、気候変動(地球温暖化)に伴う2070年の分布予測では、地球の平均気温の上昇が2度に抑えられるシナリオ、より高くなるシナリオのいずれでも生育適地が拡大することが分かりました(図3)。

今後の展開

気候変動の結果、ボルネオ島で *S. macrophylla* の分布適地が拡大することが予測されます。また近年、この種の植林がボルネオ島内で行われています。そのため、本調査で明らかになった三つの遺伝管理単位ごとに別々に種子生産を行い、それらの遺伝的要素が混合しないような植林を行っていく必要があります。本研究チームはインドネシアのカウンターパートを通じ、同国政府にこうした提案を行っていきます。また、本手法を用いれば、他の植林対象樹種についても同様の提案が可能になります。

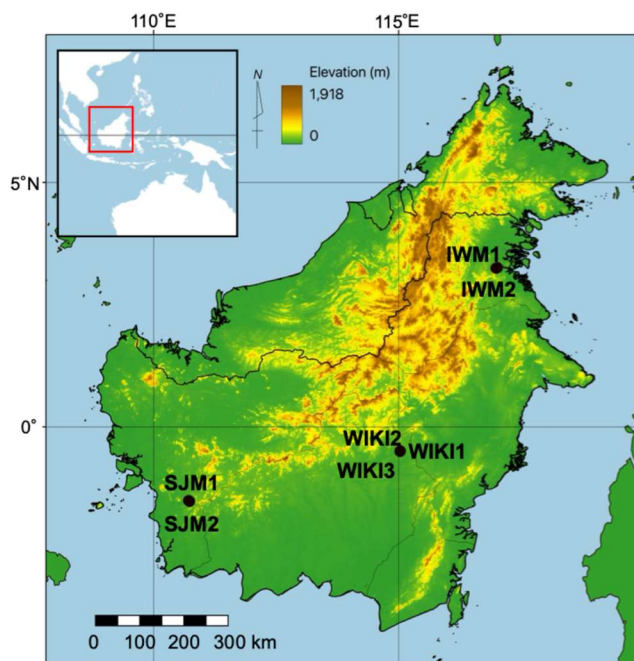


図1 カリマンタンで調査した *Shorea macrophylla* の集団の位置

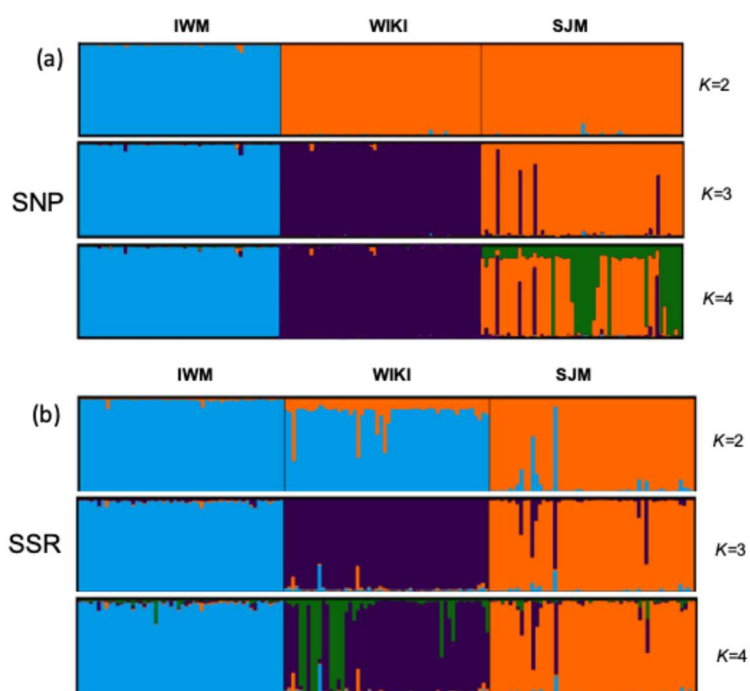


図2 *Shorea macrophylla* 天然林の3地域の遺伝的地域性 SNP (a) 及び SSR (b) を遺伝マーカーとして用いた解析では、どちらのマーカーも類似した結果となった。主座標分析や系統解析の結果では、ボルネオ島東部の集団 IWM が他の2地域集団（中部 WIKI、南西部 SJM）に比べて特徴的であった。バープロットのそれぞれの色は遺伝的類似性を示している。この種の祖先集団数 (K) を2~4で分析すると $K=3$ が最も尤度（確率）が高いものであった。

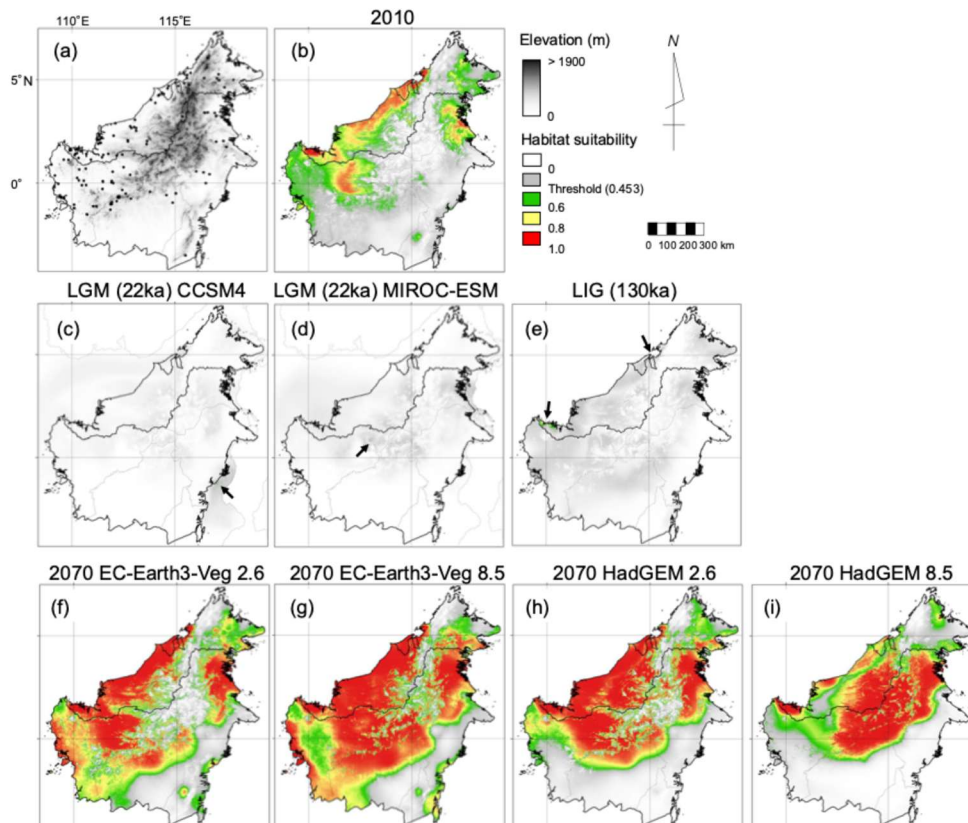


図 3 *Shorea macrophylla* の現在、過去、将来の分布適地 (a)は種分布モデル解析に用いた現在の *Shorea macrophylla* の分布データ、(b) 種分布モデルで解析した現在の分布適地、(c)、(d) は最終氷期最寒冷期 (LGM、22000 年前) の分布適地、(e) 間氷期 (LIG、13000 年前) の分布適地、(f)、(g)、(h)、(i)二つの気象モデル (EC-Earth3-Veg と HadGEM) と二つの温暖化シナリオ (低位安定化シナリオ：気温上昇を 2℃に抑えることを想定、高位参照シナリオ：政策的な緩和策を行わないことを想定) を組み合わせた四つのシナリオによる 2070 年の推定分布適地。赤い色ほど分布確率が高いことを示す。

用語解説

注 1) SNP (一塩基多型、Single Nucleotide Polymorphism)

DNA 配列の中の一つの塩基が他の塩基に置き換わり、個体間で異なっている状態を指す。遺伝的研究においては、ゲノム中の SNP 領域を利用して遺伝的多様性を推定することが多い。

注 2) マイクロサテライト (SSR：Simple Sequence Repeat) マーカー

ゲノムの DNA 上で数塩基の同じ配列が繰り返されている部分のこと。突然変異率が高く、個体間で繰り返し数が異なるため、個体識別に非常に有効な DNA マーカーとなる。

注 3) 種分布モデル (SDM：Species Distribution Modelling)

種の現在の分布情報と分布地の気候や土地利用などの環境情報との対応関係を統計学的に分析することで、環境に基づいて種の分布確率を推定する方法。気象シナリオを組み合わせることで、過去や将来の分布適地を確率的に推定することができる。

研究資金

本研究は、SATREPS（地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム）による研究プロジェクト（JPMJSA2101）と科研費（24405034）の助成を受けて実施されました。

掲載論文

- 【題 名】 Genetic diversity and population structure of *Shorea macrophylla* using genome-wide single nucleotide polymorphisms and microsatellite markers in Indonesia for conservation
（保全のためのゲノムワイドー塩基多型およびマイクロサテライトマーカーを用いたインドネシアの *Shorea macrophylla* の遺伝的多様性と集団構造）
- 【著者名】 Singgih Utomo、Widiyatno、Sapto Indrioko、Mohamad Na'iem（ガジャマダ大学）、陶山佳久（東北大学）小沼祐之介（筑波大学農学学位プログラム）、相原隆貴、津村義彦（筑波大学生命環境系）
- 【掲載誌】 *Ecological Research*
- 【掲載日】 2025 年 9 月 9 日
- 【DOI】 <https://doi.org/10.1111/1440-1703.70010>

問合わせ先

【研究に関すること】

津村 義彦（つむら よしひこ）
筑波大学生命環境系 名誉教授

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局
TEL: 029-853-2040
E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp