

熱帯域の森林再生に向けて*

川井 秀一**

Towards the Reforestation in Tropics*

Shuichi Kawai**

概要

熱帯域の森林減少と劣化を防ぐための方策について考察して植林による森林再生が重要であることを指摘し、大規模産業造林の現状と課題について検討すると共に、熱帯地域の今後の林業・木材利用のあり方を展望した。

1. 熱帯域植林の必要性

植物は、光エネルギーと水、そして極くわずかの栄養塩から省エネルギー的なプロセス、すなわち光合成によって有機物を生産して生命活動を営み、一次生産者として生命圏の食物連鎖の基盤をなし、生態系の保持に貢献している。なかでも樹木は、陸域において唯一多量に有機物を蓄積した生命体である。その集合である森林は炭素を貯蔵し、地球圏における炭素、水循環の重要な構成要素として働き、生命圏からみれば生物多様性を保持する必要不可欠のエコシステムであると同時に、人間圏の視点からは再生産可能なバイオマス資源の貴重な供給源である。森林は陸域生命圏に在って、その生存基盤としての位置を占めると同時に、これら三圏、すなわち、人類の生存圏全体にわたる物質・エネルギーおよび資源循環の一翼を担っている。

「バイオマス」を再生産可能な生物の総量と定義すれば、熱帯には豊かなバイオマスを原型のまま低次利用する伝統的社会が存在する。一方、化石資源の枯渇に伴い先進国では新たなグリーンエネルギーの創出を目指し、バイオマスのポテンシャルを最大限に引き出す高度バイオマス社会への動きが加速している。21 世紀になって化石資源の枯渇が現実となりつつあり、バイオマス変換の技術革新をテコに地域社会・経済の再構築が必要とされている。われわれの生存基盤を化石資源から再びバイオマス資源に移すと共に、人間圏、生命圏、および地球圏の関係性と相互作用を明らかにして、生存圏の持続性確保に向けた取り組みが求められる。植物バイオマスを基盤とする産業の創出と新たなバイオマス社会構築の可能性についての検討が必要な所以である。

森林、とくに、熱帯アジア地域の大規模産業造林と地域環境の調和ある共存は、直近の重要課題の一つである。日射や降雨の豊富な熱帯地域における持続的な植物生産は、森林再生の試金石でもある。地球温暖化と化石資源枯渇に対処する切り札として期待される。また持続的、循環的な木材資源の生産基盤として地元住民の経済活動や福祉への貢献も期待される。一方、土地集約的な短伐期植林、栄養塩の継続的な収奪に伴う土壌劣化など「生産の課題」、単一樹種による大規模植林地における生物多

*2011 年 9 月 15 日受理；本稿は、地球圏・生命圏・人間圏—持続的な生存基盤を求めて—（杉原薫、川井秀一、河野泰之、田辺明生共編著、京都大学学術出版会、2010）から川井秀一著の熱帯林生命圏の創出（第 7 章、pp. 215-231）から関連する部分を抽出・再構成したものを基に、増補改訂したものである。

**〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京大大学生存圏研究所循環材料創生分野
E-mail: skawai@rishi.kyoto-u.ac.jp

様性減少などの「生態系の課題」、地域住民との土地所有権、生活保証や経済振興といった「社会・経済の課題」、木質資源の効率的な材料・エネルギー変換やバイオリファイナリーなど新たな加工技術に関わる「利用の課題」など、持続性に関して解決すべき課題も多い。

人間活動の拡大に伴い、森林は農牧草地への土地利用の転換や資源・エネルギーとして収奪された結果、一貫して減少を続けた。産業革命以後この傾向はとくに顕著になっている。たとえば、FAO（国際連合食糧農業機関）の直近のデータ¹⁾によると、2005 年の世界の森林面積は 39 億 ha であり、依然として陸域の 30% を占めるものの、今なお年間 890 万 ha (1990-2000 年) から 730 万 ha (2000-2005 年) の森林が減少している。中でも南米、アフリカ、東南アジア等の元来蓄積の大きい熱帯雨林を有する国での減少が目立ち、東南アジア諸国の中ではインドネシアの減少が著しい。

地球温暖化防止策として京都議定書が 2005 年に発効し、気候変動に関する政府間パネルの第 3 作業部会第 4 次評価報告書²⁾では森林、林業、および木材利用の地球環境貢献について、これら林業部門の活動が低コストで排出量の削減及び吸収源の増加の両方に大きく貢献すると位置づけている。具体的方策として、森林、林業および木材利用について、それぞれ (1) 森林面積の維持増加（森林減少、土地利用変化の防止）、(2) 持続可能な森林経営による炭素蓄積の維持増加、(3) 木材製品の炭素蓄積の増加、高エネルギー製品の代替、およびバイオマスエネルギーの利用増加などが気候変動枠組条約締約国会議 (COP) において協議されている。とくに、インドネシアスマトラ島およびカリマンタン島では 1990 年以降の急激な泥炭湿地の開発に伴う土地利用変化により湿地の乾燥化が進み、森林火災等も相まって土壤中に蓄積された膨大な泥炭の消失し、その結果炭素の排出が進んでいる。このため、第 13 回締約国会議 (COP13, 2007 年バリ会議) 以降、途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減 (REDD) を次期枠組みに組み込む検討が開始され、実証活動や能力開発に取り組みについて協議されている。

このように森林の消滅を防ぎ、荒廃地の植林によって森林を再生することが緊喫の課題となっている。地球上の人工林面積は年間 280 万 ha (2000-2005 年) の割合で増加しつつあるが、まだ全森林面積の 3.8% (1.4 億 ha) に過ぎない。森林再生の鍵は産業造林にある。人間圏からの働きかけや管理が可能な生産林を増やすことが森林再生に対して直接的なインセンティブを与え、人口爆発に伴う木材資源・エネルギーの需要を賄うことを可能にするからである。またこのことは現存する原生（保存）林や保全林を維持するための実際的な方策でもある。今後、解決すべき様々な技術的、環境的、また社会的な課題があるものの、経済問題と環境問題の折り合いを図る近道であり、生命圏と地球圏に調和する人間圏のあり方を提示すると考える。

2. 熱帯産業造林の課題

熱帯林は全森林面積の 47%、亜熱帯林 (9%) を含めると過半を占め、現存するバイオマスの蓄積面から最も大きな存在である。また、湿潤熱帯地域は、新規の産業造林地として、大きな木材資源の収量を期待できる。低緯度地域のいわゆる熱帯域は、中高緯度に比べ太陽の放射エネルギーが 4 倍程度大きく、熱帯域の大気の動きは全球大気運動のエンジンとなっている。このため日照、気温、降雨量等の強度が全球でもっとも大きい。このことは植物バイオマスの生産にとっても好ましい環境といえる。

ユーカリ、ポプラ、ラジアータマツなど温帯域にも成長に優れた植林樹種があるが、一般に温帯林や寒帯林に比べて熱帯林の成長は年間を通じて持続的であり、その年平均成長量は極めて大きい。日本の代表的な植林樹種であるスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don.) の年平均生長量は地域や樹齢により変動するものの、幹材積（地際から末梢までの幹部の体積）でおよそ 4~8 m³/ha である。枝葉や根を含めた全バイオマスの年間生長量は 7~14 m³/ha 前後と見積もることができる³⁾。一方、近年になって始まった熱帯地域での大規模産業植林の場合をみると、たとえばアカシアマンギウム (*Acacia mangium* Willd.) の年平均成長率は、幹材積で 20~50 m³/ha であり、スギの場合の 5 倍以上の値に達している。このように熱帯地域の林業は、その生産性において温帯や寒帯地域に比して産業としての

優位性をもっている。

一方、生態系としての熱帯林をみると、有機物の生産・消費・分解等のプロセスが多段階で複雑多岐にわたり、そのため生物の多様性が豊かである。また、大気や土壌間との炭素・水分等の物質・エネルギーの交換が激しく、変動が大きい。このため、その変化の大きさから生態系の脆弱性がしばしば指摘されている。加えて近年になって人間活動による攪乱も激しさを増しており、天然林の減少と劣化によって生物多様性の維持保全が脅かされている。とくに熱帯地域の天然林（熱帯雨林および熱帯季節林）は世界の森林面積の 47% を占め、その蓄積が最も大きく、種の多様性が豊かであり、森林生態系として決定的に重要である。それ故に、人口圧の増加と共に人間圏からの干渉を激しく受け、現在消滅と劣化の進行が最も大きい森林となっている。森林生態系の消失を伴う森林減少、さらには森林生態系が提供する多様な機能・環境サービスの低下を伴う森林劣化を食い止めることが大きな課題である。

熱帯産業造林は、このような人間圏からの生命圏、とりわけ天然林への干渉を緩和して生態系の保全に寄与することができる。また、荒廃地の森林再生によって緑を回復し、木材資源の天然林への依存からの脱却を促し、さらには地球温暖化抑制にも貢献できる可能性を秘めている。しかし、天然林の劣化を抑制し、違法伐採を防いで生態系保全を実現するには、地域住民の参画を含め人間圏からの注意深い管理が必要であるのはいうまでもない。植林を標榜して天然林の劣化を助長する動きがしばしば認められるが、これを防止する政策やガイドライン策定が急がれる。

近年の資源獲得競争の結果、インドネシASMトラ島およびカリマンタン島の沿岸低地に分布する泥炭湿地にまで開発が及んでいる。焼き畑などの農地への土地利用変換、森林火災、違法伐採による森林消失や劣化のほか、アブラヤシ・パラゴムノキの農業プランテーションやアカシア植林などの大規模な開発が実施されている。この際、排水により土壌に好氣的条件が成立するため土壌有機物が急速に分解・消失し大気中の CO₂ 増加の大きな要因となると共に、泥炭湿地の基底にあるパイライト (FeS₂) などの硫化鉄鉱物が酸素と反応して土壌の酸性化をもたらす。熱帯域の泥炭湿地林では、このような大規模開発の結果、有機物の急速な消失と酸性化により土壌が著しく劣化し、荒廃地化した土地が放棄される例がしばしば見られる。

WWF（世界自然保護基金）のインドネシASMトラ島リアウ州の森林消失と劣化、ならびに生物多様性の減少と CO₂ 排出に関する最近のレポートは同州泥炭湿地林の開発に深刻な警告を発している⁴⁾。インドネシアの泥炭地面積は 3,000 万 ha~4,500 万 ha に達し、世界第 4 位の大きさ (10~12%) を占めている。その中でリアウ州の泥炭地は約 400 万 ha を占めている。泥炭土壌は 10 m 以上の深さに及ぶ所もあり、泥炭土壌の総量や貯蔵される炭素量はインドネシア最大で 14.6 ギガトン (GtC) にのぼると推定されている。このような泥炭地の上に成立した湿地林が開発の脅威にさらされている。過去 25 年間 (1982 年~2007 年) の間に、リアウ州の泥炭土壌からの森林消失は 57%、また非泥炭土壌からの消失は 73% に及び、合わせて 65%、400 万 ha に達している。皆伐された森林のうち、28.7% (111 万 ha) はアブラヤシ農園に転換され、24.4% (95 万 ha) がパルプ材用のアカシア植林への転換、いわゆる「荒地」に変わったのは 17.0% (66 万 ha) である。残りの 29.9% のうち、小規模のアブラヤシ農園への転換 (7.2%)、将来の使途目的が不明の新たな皆伐地 (7.2%)、インフラ、ゴムやココナッツ農園など、その他用途への転換とされている。

インドネシアの LULUCF (土地利用、土地利用変化および林業部門) による排出 (2000 年) は 2,563 MtCO₂ と推計されているが、この値は全インドネシアの炭素排出の 51% を占め、世界の LULUCF の 34% に達している。この原因は上述したように森林の減少と劣化によるものであり、その多くは炭素の多い泥炭土壌で発生している。LULUCF による排出に泥炭の分解や燃焼 (2,000 MtCO₂) を加えると、2000 年におけるインドネシア全体の温室効果ガスの排出源の 90% 以上を占めている。

3. 天然林から人工林の利用へ

東南アジア地域では、チーク、マホガニーなどの限定された有用樹種の人工林を除けば、豊かな植

生を背景にこれまで天然林から用材、薪炭材、薬用植物、食物等の林産物が採取されてきた。しかし、近年の天然林の減少・劣化と環境保全の重要性に対する認識の高まりに伴い、原木の供給は天然木から造林木に急速に移行しつつある。1900 年代初頭から本格化したパラゴムノキ、アブラヤシなどの農業プランテーション作物の植栽は、その後これらの樹木の廃棄立木のリサイクル利用のための木材加工技術の発達を促し、前者については製材から集成材、合板やパーティクルボード/ファイバーボードなどの各種木質パネルにいたる様々な木質材料の重要な原料供給源となっている。

インドネシアにおける産業造林政策は、カリマンタン島およびスマトラ島を中心に 1960 年代から推進されてきた。1966 年に森林コンセSSIONが開始され、天然林の減少に拍車がかかる反面、アカシア・マンギウム、メライナ (*Gmelina arborea* Linn.)、カメレレ (*Eucalyptus deglupta* Bl.)、ファルカータ (*Paraserianthes falcata* Backer) に代表される早生樹による植林の試みが盛んになっている。これら早生樹種の物理的、力学的性質をはじめ、木質材料への加工利用特性についても多くの研究が見られる⁵⁾⁹⁾。1980 年代からは産業造林 (HTI) 政策がカリマンタン島、スマトラ島を中心に推進され、1990 年代にはアカシアやファルカータなどの早生樹の産業造林が本格化している。アカシア材は紙パルプあるいは木質ボード用のチップ用材として、ファルカータ材は製材や単板積層材 (LVL) などの木質材料用材として供給されている。いずれも 10 年未満の短伐期林業である。

2000 年代以降になって単一樹種、短伐期、一斉大規模造林以外の産業造林の試みも始まっている。すなわち、マレーシアサバ州においてアカシアハイブリッドの植林が、またインドネシア中央カリマンタン丘陵地においては在来優占樹種である広葉樹(フタバガキ科)の植林が開始されている。前者はアカシアマンギウム (*A. mangium*) とアカシアアウリカリフォルミス (*A. auriculiformis*) の自然交配種を用いているが、枝打ち、除伐、間伐などこれまでの熱帯造林には見られない集約的な施業を施し、製材・合板用材を目指した造林を行っている。後者はフタバガキ科が優先する天然林の択伐施業の後、列状皆伐・再植林を実施しており、FSC 認証を取得している。いずれも 15 年～20 年の中伐期施業の産業造林である。

参考文献

- 1) Food and Agricultural Organization 2008. Global Forest Resources Assessment 2005.
- 2) IPCC: 第 4 次評価報告書 (第 3 作業部会) IPCC AR4WGIII Technical Summary
- 3) 林野庁, 森林・林業基本計画 (平成 13 年 10 月), 2001.
- 4) Uryu, Y. *et al.*, Deforestation, Forest Degradation, Biodiversity Loss and CO₂ Emissions in Riau, Sumatra, Indonesia. WWF Indonesia Technical Report, Jakarta, Indonesia, 2008.
- 5) 王潜, 佐々木光, Razali A. Kader, サバ産植林木間伐材の性質, 木材研究・資料, **25**, 45-51, 1989.
- 6) 王潜, 林知行, 佐々木光, 長谷泰弘, サバ産植林木 LVL の複合梁フランジとしての利用 (第 1 報) LVL 化による材質の信頼性向上, 木材学会誌, **36**(8), 624-632, 1990.
- 7) Firmanti, A., Subiyanto, B., Takino, S., and Kawai, S., The critical stress in various stress levels of bending member on fire exposure for mechanical graded lumber, *J. Wood Sci.*, **50**, 385-390, 2004.
- 8) Firmanti, A., Bachtiar, E. T., Surjokusumo, S., Komatsu, K., and Kawai, S., Mechanical stress grading of tropical timber without regard to species, *J. Wood Sci.*, **51**, 339-347, 2005.
- 9) Firmanti, A., Subiyanto, B., and Kawai, S., Evaluation of the fire endurance of mechanically graded timber in bending, *J. Wood Sci.*, **52**, 25-32, 2006