

環境変動対策を支える森林研究 ～長期的な観測から見えてきたこと～

佐藤 保*

〔キーワード〕：長期大面積試験地，森林生態系，
REDD+，攪乱からの回復，森林
劣化

1. はじめに ～森林を取り巻く現状～

森林の重要な機能の一つとして，温室効果ガスの一つである二酸化炭素を吸収する機能が挙げられるであろう．日本は過去 50 年以上にわたり森林面積(国土の 68%に相当)の変化がほとんど生じず，スギやヒノキなどの針葉樹人工林の材積は増加傾向にある中で，吸収源としての機能は，わが国の温暖化対策に大きな役割を果たしてきた．しかし，世界に目を向けてみると森林を取り巻く状況は，日本とは異なることが見えてくる．

国際連合食糧農業機関(FAO)は定期的に世界各国の森林・林業に関する統計情報を取りまとめ，世界森林資源評価(Forest Resources Assessment: FRA)というレポートにまとめている．2020 年に発行された FRA2020(FAO, 2020)によると，アジアの一部や北米・欧州で森林面積の増加が認められるものの，依然，世界的に森林面積の減少は続いていることが示されている．

森林減少を引き起こす要因としては，農地や放牧地などの森林以外の土地利用への転換が挙げられる．森林から農地に転換された土地では，当然ながら森林が吸収していた量の炭素は存在しない．また，森林減少が生じている多くの国や地域では，地元住民の生活が森林に依存しているのも事実であり，調理などの燃料源として森林からの薪の採取が恒常的に行われている．薪の採取圧が強くなると，小～中径木が無くなり，林内の樹木がまばらな状態になる．このような状態を「森林劣化」と呼ぶが，森林劣化も森林減少と同様に温室効果ガスの排出源となることが指摘されている(Pearson et al., 2017)．

2. REDD+という考え方

吸収源としての森林の減少は，温室効果ガスを削減するという目標に対してマイナスに働くことは明らかであろう．2006 年に英国の経済学者の Nicholas Stern 博士が発表した「気候変動の経済学」(通称 スターン・レビュー)の中で，森林減少の抑制は他の気候変動緩和策に比べて比較的安価に行え，費用効果が高い可能性を示した．ほぼ同時期に国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の第 11 回締結国会議(COP11)にて，パプアニューギニア政府とコスタリカ政府により，途上国において森林減少を回避することで温室効果ガスの排出量を削減する取組にインセンティブを与える仕組みの提案があり，その対応が開始された．後にこの対応は，「途上国における森林減少・劣化の抑制による温室効果ガス排出の削減」として UNFCCC COP13 で合意され，森林保全，森林の持続可能な管理，森林炭素貯留量拡大の役割も加えて英語表記での頭文字をとって REDD+(プラス)¹⁾とされた．

REDD+の仕組みは，図 1 に示したように，何も対策をしなかった場合の森林減少や森林劣化起源の排出量の推移を参照レベルとし，REDD+活動による対策をした場合の排出量との差分を削減量として経済的なインセンティブを与えるということである．そして REDD+では，その活動による排出削減量をいかに正確に算定するかが重要であり，計測(Measuring)，報告(Reporting)，および検証(Verifying)というシステム(MRV システム)が求められる．

森林総合研究所では，2010 年に REDD 研究開発センター(現在は，REDD プラス・海外森林防災研

英語表記では以下のとおりとなり，下線部の文字をつなげて REDD となり，波線部が+(プラス)となる．

Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries
0369-5247/25/¥500/1 論文/ICOPY

* (国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 (Tamotsu Sato)

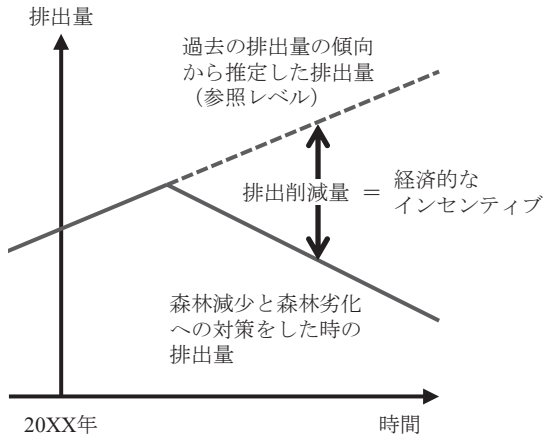


図1 REDD+の基本的な考え方
森林総合研究所 REDD 研究開発センターの資料をもとに作成。

究開発センター)を設立し、REDD+の実践に必要な手法の開発を進めてきたが、演者は東南アジアおよび南米でのMRVシステムの開発を担当してきた。その過程で森林総合研究所が国内外で取り組んできた観測試験地での長期にわたる森林動態および炭素収支に関する研究経験が方法論開発に活きてきたのである。

3. 基盤となる森林の長期観測

ここで改めて、森林動態や炭素収支を進める上でなぜ長期観測が重要なのか整理してみたい。森林の炭素蓄積量を正確に知るには、種組成や成長などを詳細に把握する必要があるが、稀に発生する強風や火災などの攪乱がそれらに与える影響とそこからの回復過程を無視することはできない。したがって、森林の状態ならびに炭素蓄積量を、その変化まで含めて正確に把握するためには、より長期にわたる観測が必要となる。

日本国内では、中静・山本(1987)が大面積かつ長期間の継続研究の必要性を指摘し、以降、多くの長期観測試験地が設定されてきた。試験地はヘクタール規模の大きさであり、試験地の区画内の一定サイズ以上の樹木個体すべてを対象に樹種名や胸高直径(DBH)を記録する。この調査を毎木調査と呼ぶが、この調査を2～5年の周期で繰り返す行うことで、森林構造や種組成の変化を把握できるのである。森林総合研究所でも1980年代後半か

ら国内の森林を対象に長期観測試験地を設定し、データと共に測定手法の技術や知識も蓄積してきた。そして1990年代中盤からは、その技術と知識を活用する形で、東南アジア諸国において現地の研究機関と共同で長期観測のための試験地が複数設定され(図2)、現在に至っている。

4. 森林の長期観測から見てきたこと

ここでは、攪乱後の変化を追ったふたつの試験地での長期観測の事例で見てみたい。

(1) Pasoh 試験地 ～伐採後の変化を見る～

Pasoh 試験地はマレーシア首都クアラルンプールから約70km 東南に位置する Pasoh Forest Reserve 内に設定されており、マレー半島の典型的な低地フタバガキ林(lowland dipterocarp forest)である。Pasoh Forest Reserve では、日本とマレーシアの研究者が1960年代後半のIBP(国際生物学事業計画)のもと調査研究を実施してきた歴史があるが、1994年に長期観測用の6ha試験地を新たに設定し、DBH 5cm 以上のすべての木本樹種を定期的に毎木調査している(Niiyama et al., 2003)。Pasoh 試験地ではIBPによる調査研究時代に地上部現存量計算用のアロメトリ式作成のために0.2haの規模で皆伐を行った部分を含んでいる。伐採後25年経過した1996年に皆伐跡地の種組成を周辺の未伐採の林分のもものと比較したところ、休眠性の種子を持つ種や先駆性の種が多く、皆伐前にあった82種のうち、59種が消失しており、*Koompassia malaccensis* や *Dipterocarpus cornutus* などの未伐採林分での優占種の頻度は低く(Niiyama et al., 2003)、その傾向は伐採後49年経過した2020年時点でも変わらなかった。伐採後にはほぼ50年経過した皆伐跡地は、現地では未伐採林分と区別がつかないほどの回復しているように見えるのだが、種組成の視点からは変化しており、過去の攪乱の履歴を把握する重要性をこの観測結果は示している。

(2) Bukit Soeharto 試験地 ～複数の攪乱の影響を見る～

Bukit Soeharto 試験地は、伐採と火事による攪乱の回復過程を観測するために、インドネシア・東カリマンタン州のムラワルマン大学の演習林でも

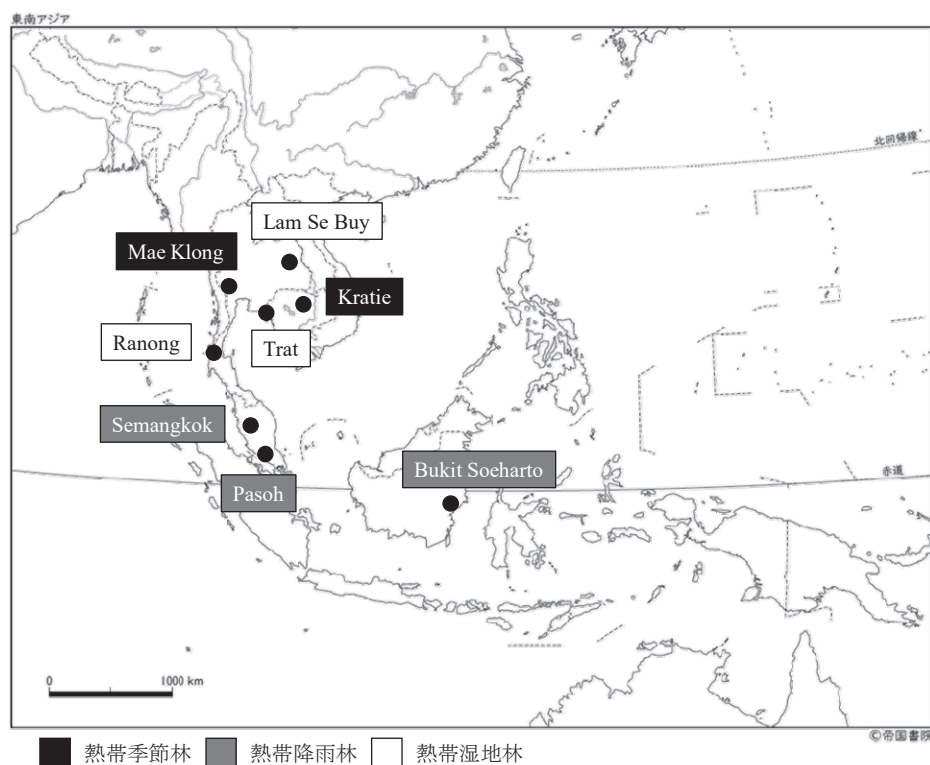


図2 東南アジアに設定された長期観測試験地
帝国書院ウェブサイト「白地図」より作成。

ある The Bukit Soeharto Research and Education Forest (BSREF) 内の低地フタバガキ林に設定されている。試験地は、9 個の 1ha プロットから構成されており、そのうちの 6 個ではふたつの異なる方法 (弱度択伐と強度択伐) での伐採が行われ、残りの 3 つは対照区とするために伐採は行っていない (非択伐区)。伐採は 1997 年 10 月に実施したが、1998 年 2~3 月の火事で攪乱を受けている。いずれのセットでも DBH 10cm 以上の樹木個体を定期的に毎木調査している (Toma et al., 2017)。

火災と択伐という複数の攪乱を受けた本試験地では、火災攪乱から 2 年経過した 2000 年まで立木本数の低下が続き、その後急激な増加を示していた (図 3 右)。この本数増加はおもに *Macaranga* 属や *Mallotus* 属などの先駆性樹種で占められていた。一般に先駆性樹種は材密度も低く、相対的に寿命が短い傾向にあり、2008 年頃をピークに本数は減少傾向を示している。一方で地上部現存量の攪乱後の回復傾向は、択伐による攪乱の有無により大

きく異なっている。すなわち択伐を実施した区画では地上部現存量の増加は見られるものの、非択伐区との差はほとんど縮まらなかった (図 3 左)。これは非択伐区では、状態の良い森林に優占する遷移後期種が残っていたことに対し、択伐した区画では、材密度の低い (= 重量の軽い) 先駆性樹種で占められていたことによる。このように本数ベースでは攪乱前と同程度まで回復したように見えても地上部現存量はほとんど回復しておらず、劣化した状態であることがこの観測事例からわかる。攪乱前の 1997 年と攪乱後 15 年経過した 2012 年の時点での試験地内で記録された種数を比較したところ、種数自体は 2012 年の方が増加していたが、その約半数は攪乱後に侵入・定着した種であり、攪乱前に記録された種の約 6 割は 15 年の間に消失していたことが記録されている (藤間・私信)。攪乱を受けると森林は地上部現存量や種組成の視点からも劣化してしまうが、年数が経過すれば回復することも事実である。しかし、その回復過程は、

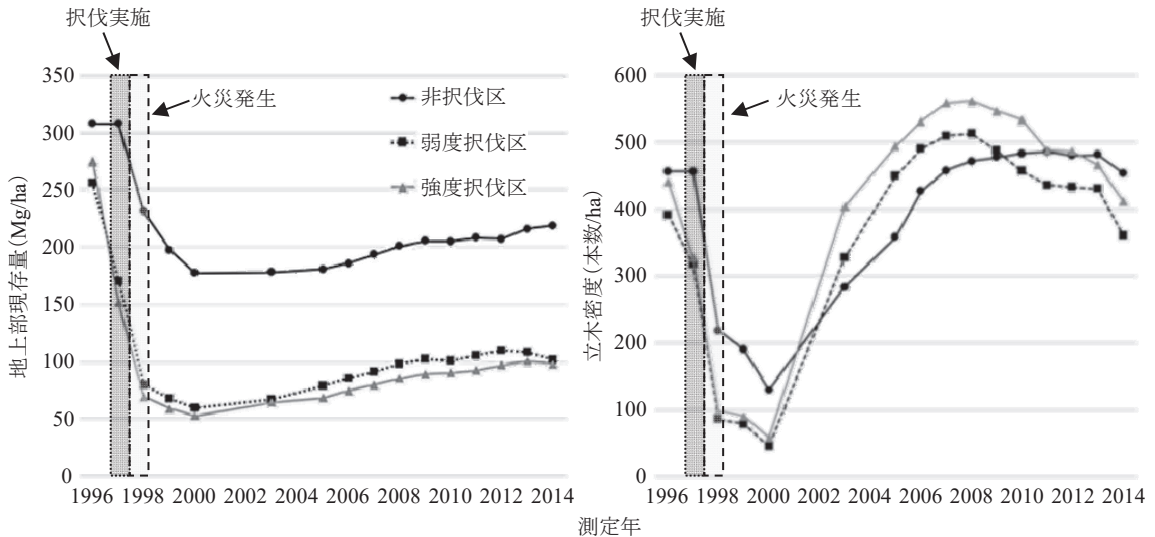


図3 Bukit Soeharto 試験地における地上部現存量(左)と立木密度(右)の年々変動
Toma et al. (2017) をもとに作図。



図4 Pasoh 試験地での直径測定の様子
通常、樹木の直径は高さ 1.3m の位置で測定するが(写真左)、板根が発達している場合(写真右)は梯子などを用いてより高い位置で測定する必要がある。

この結果が示すように撓乱の強度により異なっている。撓乱直後のごく短い期間での観測結果のみでは、回復過程に誤った評価をしてしまう可能性があり、その意味でも長期観測は重要であることをこの試験地の結果は示している。

5. REDD+への応用

先に述べたように REDD プロジェクトでは、対象とする区域(たとえば国や州レベル)内の森林由来の温室効果ガス排出量を把握する必要がある。

たとえばひとつの方法として、ある一定期間内の森林炭素蓄積量の差分を排出量として推定する方法がある。森林炭素蓄積量は、活動係数(区域内の森林面積)に排出係数(単位面積辺りの炭素蓄積量)を乗じることで得られるが、衛星データなどを利用して得られる活動係数に対して、排出係数を求めるには地上データを用いた計算が必要となる。具体的には一定面積の調査区画を複数個設定し、毎木調査の結果から炭素蓄積量を求めることになるが、撓乱の強度(=劣化の程度)などを考慮して

タイプ分けすることで計算結果の精度を上げることができる(Gibbs et al., 2007). また、REDD プロジェクトによる対策の効果を示すために、1 回限りの調査ではなく、複数回にわたる計測が必要である。一方でプロジェクトを実施する途上国内の技術者には、このような地上調査に対して十分な知識と経験が不足していることが少なからずある。たとえば、熱帯林の樹種には、根の一部が板状に発達する板根を持つ種もあり、通常とは異なる測定をする必要がある(図 4)。そこで、REDD 研究開発センターでは、このような場合の直径の測定方法やプロット設定に関するルールをわかりやすくまとめた技術マニュアル「REDD-plus Cookbook Annex」(Sato and Miyamoto, 2016)を作成した。マニュアル内に示したルールの多くは、長期観測で得られた(成功だけでなく失敗も含む)経験から導かれたものである。ペルーの南部アンデス地方では、このマニュアルに基づいて地上調査と森林炭素蓄積量が計算される(Miyamoto et al., 2018)とともに、ペルー国内の森林資源調査の担当者の資質向上にも寄与している。

余談ではあるが、REDD 研究開発センターでは地上部現存量を計算するためのアロメトリ式の作成も進めてきたが、我々のチームがパラグアイ共和国で開発したアロメトリ式(Sato et al., 2015)は、パラグアイ政府が国連気候変動枠組条約に提出した森林参照排出レベル(FREL)の設定に用いられており、同国の REDD 活動に大きく貢献している。

6. おわりに

本稿では、半島マレーシアとインドネシアの試験地の結果を通して、長期観測が重要であることを述べてきた。一方で長期に観測をすることで、試験地は伐採や火災、あるいは強風などの攪乱に遭遇する機会も多くなる。これら攪乱は森林の世代交代を促す役目を果たすことから、森林動態の解明には大きなヒントを与えてくれる。また、攪乱は森林減少のみならず、森林劣化とそれに伴う炭素蓄積量の減少を引き起こす要因ともなる。攪乱の程度によっては、試験地の維持自体が困難

になる場合もあり、時として研究者の悩みの種にもなる。

しかし、長期観測による攪乱からの回復過程の把握は、森林劣化の評価にも適用でき、REDD プロジェクトに代表されるような持続的森林管理の促進に繋がるものであり、その重要性は増してくるだろう。長期観測を維持するためには、相手国の理解や協力が不可欠であり、そのためにも得られた知識や経験の共有を進めることは重要である。また、長期観測の基盤を維持するためには、人材や研究資金の確保が不可欠である。本稿では、森林の長期観測の一端を樹木種に着目して紹介したものであるが、森林にはさまざまな生物が生息しており、長期観測でしか解明し得ないことがまだまだ沢山ある。本稿が森林の長期観測に対して国内の若い世代の方々が興味を持つ端緒となれば幸いである。

引用文献

- FAO 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. 1-164.
- Gibbs, H. K. et al. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:045023.
- Miyamoto, K. et al. 2018. Variation in tree community composition and carbon stock under natural and human disturbances in Andean forests, Peru. *Forests* 9:390.
- 中静透・山本進一 1987. 自然攪乱と森林群集の安定性. *日本生態学会誌* 37:19-30.
- Niiyama, K. et al. 2003. Regeneration of a clear-cut plot in a lowland dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. In T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S.C. Thomas and P.S. Ashton eds., *Pasoh: Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia*. Springer, Tokyo. 559-568.
- Pearson, T. R. H. et al. 2017. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12(1): 3.
- Sato, T. et al. 2015. Development of allometric equations for tree biomass in forest ecosystems in Paraguay. *JARQ* 49(3):281-291.
- Sato, T. and Miyamoto, K. 2016. REDD-plus Cookbook Annex Volume 1. Ground-Based Inventory. FFPRI. Tsukuba. 1-23.
- Toma, T. et al. 2017. Sixteen years changes in tree density and aboveground biomass of a logged and burned dipterocarp forest in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* 18(3): 1159-1167.