

課題名	B-072 森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究		
課題代表者名	松本光朗（独立行政法人森林総合研究所温暖化対応推進拠点温暖化対応推進室）		
研究期間	平成19－21年度	合計予算額	107,622千円（うち21年度 35,121千円） ※予算額には、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) リモートセンシングを用いた森林減少と排出量の推定手法の検討（独立行政法人 森林総合研究所）</p> <p>(2) 森林減少ベースラインの設定手法の検討（早稲田大学）</p> <p>(3) 森林減少および森林劣化の発生のメカニズムの社会経済的分析（独立行政法人 森林総合研究所）</p> <p>(4) 既存枠組とガバナンスをふまえた「森林減少の回避」制度の実行可能性の検討（東京大学）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. はじめに（研究背景等）</p> <p>2005年、COP11において、パプアニューギニアとコスタリカから、地球温暖化緩和策として「森林減少の回避（Avoiding Deforestation）」が提案された。これは、途上国において森林減少を削減できれば、それによる排出削減量をクレジット化できるという仕組みであり、その方法論として森林減少の把握をリモートセンシングで行い、近年の森林減少トレンドをふまえた排出量のリファレンス・シナリオ（ベースライン）と現実排出量の差を排出削減量と見なすという提案がなされた。</p> <p>このような議論や提案の背景には、IPCC第4次評価報告書が示したように、炭素排出の20%は森林減少によるものであること、森林分野における緩和策は潜在量の約65%が熱帯にあり、約50%が森林減少の削減と劣化の防止により達成可能であるとの認識がある。しかし、京都議定書においては削減目標が先進国にのみに与えられ、途上国の削減目標が設定されていないことや、森林に関わるCDMが森林植林・再植林のみを対象とし、森林経営や森林保全を対象としなかったことなどにより、途上国の森林減少を削減する仕組みにはなっていない。そのため、「森林減少の回避」は、途上国の森林減少を削減する動機付けとなる新しい仕組みとしてクローズアップされた。</p> <p>その後、京都議定書次期枠組みの検討において、「森林減少の回避」に代表される森林減少を削減する枠組みはREDD（Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries：途上国における森林減少・劣化からの排出の削減）と呼ばれるようになり、2007年のCOP13においてバリ・ロードマップの中の検討すべき一項目として大きく位置づけられた。2008年のCOP14においては、それまでの森林減少・劣化に、保全・持続可能な森林経営・炭素増強といった活動が追加されてREDD+と総称されるようになった。さらに、2009年のCOP15では次期枠組みの合意には至らなかったが、コペンハーゲン合意にはREDD+の構築の必要性が明記され、今後の枠組み作りにさらに注目が集まっている。</p> <p>このようなREDDに対する注目や期待は高まる一方であるが、現在、提案・議論されているREDD+制度にはリモートセンシングやリファレンスシナリオといった技術的な問題点に加え、京都議定書の削減目標やCDMなどとの不整合といった制度的な問題点、国家施策による地域住民への悪影響などの社会経済的問題点、さらにはインセンティブを付与・配布するメカニズムの問題点など、様々な問題が多く残されており、その解決案が求められている。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究プロジェクトにおいては、REDDについて技術面及び制度面の両面からその実効性と問題点を整理し、森林減少の削減に係わる新たな制度案を示すことを目的としている。</p> <p>具体的には、「森林減少の回避」を代表とするREDD制度の仕組みについて、森林減少が進行中のメコン周辺国を対象として、リモートセンシングによる森林減少のモニタリング、排出量の推定、ベースラインの設定を行い、排出削減可能量の推定といった技術面についての実行可能性と、現行の京都議定書の枠組み、途上国における森林減少・森林劣化の実態やその発生プロセス、ガバナンスをふまえた制度面からの実行可能性を明らかにし、「森林減少の回避」に係わる様々な技術や制度の利点や限界、適用条件等を整理するとともに、森林減少の削減に係る新たな制度案を示す。このような研究項目に対応するため4つのサブテーマを設定した。それぞれの研究目的は以下のとおりである。</p>		

(1) リモートセンシングを用いた森林減少と排出量の推定手法の検討

「森林減少の回避」による排出削減量の推定手法を明らかにするため、森林減少が進行中のカンボジア及び近年森林減少が発生し始めたラオスを対象として、森林減少や森林劣化の実態を明らかにするとともに、リモートセンシングを用いた森林減少とそれに伴う排出量のモニタリング手法を開発し、実行可能性について比較検討を行う。

(2) 森林減少のベースラインの設定手法の検討

「森林減少の回避」による排出削減量の推定手法を明らかにするため、森林減少がすでに行き着いたと思われるタイを対象としてその実態を明らかにするとともに、森林減少のベースラインについて、リモートセンシングによる森林面積の減少の測定値からベースラインを設定する方法、社会経済的モデルによる設定手法等、複数の方法を開発し、それぞれの実行可能性について比較検討を行う。

(3) 森林減少および森林劣化の発生のメカニズムの社会経済的分析

「森林減少の回避」制度の実行可能性を検討するため、メコン川周辺諸国における森林減少・劣化の現状とその発生プロセスについて社会経済的分析を行い、森林減少・劣化に関する各国・各地域の特徴をふまえて、「森林減少の回避」制度の地域レベルでの問題点と適用条件を明らかにする。

(4) 既存枠組みとガバナンスをふまえた「森林減少の回避」制度の実行可能性の検討

温暖化緩和策としての森林減少回避の実行可能性を明らかにするため、現在の京都議定書の枠組みとの整合性の検討や、ホスト国の社会経済的側面の分析やガバナンスの見地をふまえ、「森林減少の回避」の制度としての問題点と適用条件を明らかにするとともに、森林減少の削減に係わる新たな制度案を示す。

以上のサブテーマ別の目的に加え、REDD制度の構築に向けた国際的な議論が高まっていることを考慮し、COPやSBSTA等のタイミングを見計らいながら、成果をREDDに関する国際的な議論や交渉へインプットすることも本研究の目的のひとつとする。

なお、ここでは森林減少は、気候変動枠組条約での定義を用い、「森林からそれ以外への土地利用変化」と定義する。森林劣化についてはまだ国際的な合意に至っていないため、暫定的に「森林の質的・量的低下」と定義する。また、研究開始時に想定していた森林減少・劣化を対象とした制度をREDDと表記し、COP14以降、対象の活動を保全・持続可能な森林経営・炭素増強を加えて拡大した制度をREDD+と表記することとする。

3. 研究の方法

(1) リモートセンシングを用いた森林減少と排出量の推定手法の検討

森林減少・劣化とそれによる排出量の推定手法について、研究対象地であるカンボジアとラオスにおける森林減少・劣化の原因を現地調査によって明らかにし、森林減少・劣化の原因形態に応じた蓄積変化法に基づく炭素排出量推定手法を提案した。蓄積変化法では森林面積と単位面積あたりの炭素蓄積量を異なる時点で求めることが必要となる。そのため、リモートセンシングによる森林減少面積の推定手法および単位面積あたりの炭素蓄積量の推定に関して、手法の詳細を検討した。最後に、提案した各手法の特徴と限界を提示し、実行可能性の面からの比較検討を行った。

(2) 森林減少のベースラインの設定手法の検討

1) タイの森林資源動向に関するマクロ的な分析

タイの森林分布、国立公園、野生生物保護区といったGISデータに加え、人口センサス、農業統計、森林統計、土地利用統計等の時系列データを収集し、それらを用いて計量経済学手法によるレファレンス・モデルを作成した。

2) 社会構造の変化、地域経済の変化が森林減少に与える影響をミクロ的な分析

中部タイ（カンチャナブリ県メクロン流域）での平地－山岳移行地、北部タイ（マエホンソン県クンサー流域）の森林減少が現時点ではもっとも激しい山岳地域、東北タイ（ノンランブ県ニコムノンチャン）において、航空写真で1950年以降の土地利用変化を約10年間隔で調べるとともに、聞き取り及びアンケート調査で土地利用変化の背景となる情報を収集した。

(3) 森林減少及び森林劣化の発生のメカニズムの社会経済的分析

1) 森林減少・劣化の発生プロセスの分析

カンボジアとラオスにおいて、政治情勢や行政、経済状況、社会情勢、自然環境などの諸要因が複合的に作用した結果発生している森林減少・劣化の発生プロセスを、世界的な森林減少・劣化の発生プロセスについてのレビューや地域の森林利用・管理及び政治社会経済状況を踏まえ分析する。この際、まず国レベルについて概要を把握し、その上で、森林減少・劣化が激しい地域やREDD候

補地域となりそうなところを重点地域として選び、その地域についてより詳細に分析する。

発生プロセスの分析にあたっては、直接要因－背景要因の枠組みを用い、まず主要な直接要因を整理した上で、その背景要因の関与の仕方を、どのようなアクターがどのように関与しているのかにも注目しながら分析し、主要な発生プロセスのパターンを抽出する。その際、定量的データの入手可能性および精度の限界から定性的な分析を主体とする。また、REDD制度による森林減少・劣化のコントロール可能性についての検討を加えるために、政治・行政的要因－それ以外の要因、森林セクター内の要因－セクター外の要因、国内要因－国外要因の軸に注目しながら分析をすすめる。分析対象期間は、カンボジアの内線が終息した1990年代以降とする。

2) REDD制度に盛り込むべき観点の提案

発生プロセスの分析結果をもとに、REDD制度の影響・課題等に関する議論のレビューを踏まえながら、森林減少・劣化を軽減させるための制度の要件やその制度の運用における留意点など、REDD制度に盛り込むべき観点（重要な視点と課題）の提案を行う。

(4) 既存枠組みとガバナンスをふまえた「森林減少の回避」制度の実行可能性の検討

1) まず、他の国際条約等との整合性を考慮し、REDD+制度の条件を検討するため2つの分析視角を設定した。第一は「トリプル・ベネフィット」である。森林減少の回避には、持続可能な森林管理の実現が不可欠であり、そのためには二酸化炭素排出削減のみならず、生物多様性の保全や地域住民の貧困削減も同時に達成することが重要である。これにより、生物多様性条約や国連ミレニアム開発目標との整合性を維持しつつ制度設計を進めることができる。第二は「レジティマシー（正統性）」である。REDD制度は途上国のガバナンスを改善し、政策のレジティマシーを高める可能性を持つ。そして、それは有効性と民主性によって確保される。したがって、REDD制度が国家森林政策として導入される際に、森林減少回避の実現（有効性の確保）および森林地域住民の参加（民主性の確保）の改善策を検討することが重要となる。

2) 次に、京都議定書・第一約束期間を含むUNFCCCの全体枠組みの中でREDD制度を位置づけるための枠組みとして3行3列のマトリックスを活用した。横軸はLULUCF（土地利用・土地利用変化及び林業）と他セクターとの統合性を、縦軸はコミットメントの類型を示す。

4. 結果および考察

(1) リモートセンシングを用いた森林減少と排出量の推定手法の検討

1) 森林減少・劣化とそれによる排出量の推定手法

森林減少・劣化に伴う森林炭素排出量の推定手法について、これまでに提案されている炭素蓄積モニタリング手法をレビューし、東南アジア地域に適用可能な手法を検討した。研究対象地である東南アジア地域インドシナ半島に位置するカンボジア森林地帯とラオス北部山岳地における森林減少・劣化の主要形態を現地調査し、当地域では違法伐採を含む大径木の択伐、焼畑の休閑年数短縮、ゴム林等農地への転換が森林減少・劣化の主要形態であることを明らかにした。この結果を踏まえ、東南アジア地域に適用可能な手法として、成長量-損失量法ではなく、蓄積変化法を適用した手法を提唱した。蓄積変化法では、森林の炭素蓄積量を森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量の積により推定し、異なる時点での推定値の差分を取ることで炭素排出量を推定する。蓄積変化法を基礎に、森林減少・劣化の形態別に異なるアプローチを取る排出量推定スキーム（図1）を開発し、各アプローチの特徴と限界、実行可能性をとりまとめた。

この推定フローを適用する手順は以下の通りである。①まず、リモートセンシング等により、森林タイプや利用タイプを区分し、各区分の森林面積を把握する。②次に、森林タイプ・利用タイプごとの単位面積当たり炭素蓄積量を3つの方法のいずれかで推定する。炭素蓄積量の推定手法は、森林減少・劣化の形態に応じて適切なものを選択する。③両者を乗じて森林タイプ別の炭素蓄積量を把握する。④森林減少・劣化のトレンドや炭素吸排出量は、この推定フローを時系列的に繰り返して得られる炭素蓄積量の差分から推定する。

2) リモートセンシングによる森林減少面積の推定

カンボジアを例として広域森林モニタリングに利用可能な現地空間情報の整理を行い、リモートセンシングデータの利用可能性の観点よりREDDの実行可能性を検討した。森林面積と森林タイプ・土地被覆区分のモニタリングは、中解像度以上のセンサを用いて実施可能である。現地の主要かつ重要な森林タイプである常緑林と落葉林の識別は、中分解能衛星にて色調の違いから乾季初期の画像を用いることで可能であった。

一方、農地・放棄地・二次林の判別については困難な場合があった。この結果、森林と農地の誤分類が相互方向に生じ、テストサイトでは農地を森林と誤分類する方が多く、森林面積が過大評価

となった。また、耕作放棄地や人工林など土地利用が確定し把握されるまでにタイムラグが生じる場合があり、検証データとして想定される過去の空中写真や高分解能衛星データ上でも判別が困難な場合があった。諸手法のうち、広域森林モニタリングに利用可能な現地空間情報を整理し、裸地化した土地の検出は比較的容易で、新たに農地転換した土地や焼畑農地では高精度の検出が見込まれる。伐採が行われている森林は、伐採道路などの人工物を目印に検出可能で、燃材採取も焼畑や集落のそばで行われる場合は焼畑や集落を目印に活動範囲を特定できた。その一方、光学センサによる雲無し画像の取得可能性に関して、東南アジア内で地域的変異があり、REDDの実行可能性は地域ごとに異なることを明らかにした。REDDスキームの検討においては、このような地域的事情を考慮する必要がある。

森林減少・劣化による排出量推定のフロー

- ①森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量を異なる時点で求める〔下図〕
- ②森林の炭素蓄積量の変化を①の差分により推定する
- ③森林減少・劣化のトレンドや吸収・排出量は②を繰り返すことで把握できる

リモートセンシングを用いた森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量推定手法

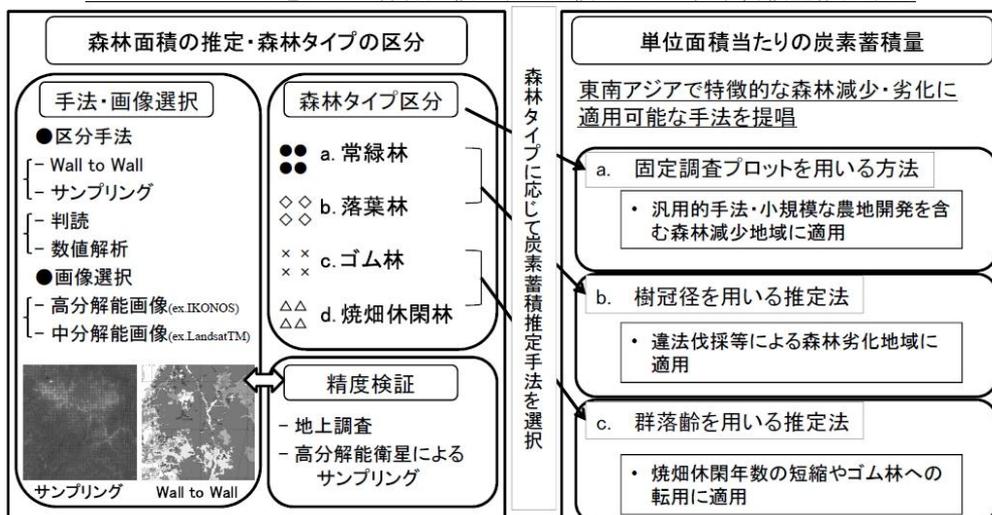


図1. 森林減少に伴う排出量の推定スキーム

3) 単位面積当たりの炭素蓄積量の推定

図1において炭素量推定手法として提案した、①固定調査プロットを用いる方法、②樹冠径を用いる方法、③群落齢を用いる方法、の3手法を検討した。

①固定調査プロットを用いる手法は、様々な森林タイプおよび森林減少・劣化形態に適用可能な汎用的手法である。カンボジアをテストサイトとして、固定試験地の毎木調査データ等を利用して、炭素蓄積量の平均値と標準偏差を算出した。カンボジアに適用可能なバイオマス炭素量推定式を示し、そのアロメトリ式を用いて高木バイオマスを推定した。下層植生と枯死木、リターは破壊調査で炭素蓄積量を求めた。各パーツを集計し、カンボジアの主要な森林タイプである常緑林と落葉林、および常緑林が劣化した二次林における平均炭素蓄積量を算出した（表1）。さらに現地の固定プロット調査結果を利用して、異なる森林タイプの炭素蓄積量を有意に区分するために必要な固定プロット数を国レベルで推定した。この結果、26個（常緑樹林11個、落葉樹林15個）のプロットを設置することで森林の炭素蓄積量のトレンドを、国レベルで比較的信頼しうる精度で、かつ安価に把握できることが分かった。このように実行コスト・精度を含めた具体的な提案を国レベルで行った。実行に際しては、プロットの代表性・シークレット性の確保に留意する必要がある。

表1 カンボジアにおける主要森林タイプのバイオマスおよび炭素蓄積量

森林タイプ	n	高木バイオマス (5 cm < DBH・全木)		下層植生バイオマス (全木)		枯死木量		リター蓄積量		炭素蓄積量 (土壌炭素量を除く)	
		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg C ha ⁻¹	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
常緑林	5	414.9	93.9	13.4	2.3	10.9	11.4	42.3	24.8	228.6	48.1
落葉林	6	281.2	99.4	6.7	3.5	1.7	2.0	30.7	11.2	152.8	48.9
二次林	6	140.5	59.9	11.9	5.8	1.2	2.6	23.1	11.9	79.4	28.7

②樹冠径を用いる方法では、上空から判読可能な上層木樹冠情報のみから林分全体の樹木バイオマスを推定する手法を提示した。地上計測に基づいた林分構造の解析により、高分解能衛星画像から樹冠情報を抽出して林分バイオマスを推定する手法を開発した。これは、大・中径木群バイオマスを最大樹冠径情報から回帰的に推定し、小径木群バイオマスを樹冠被覆度・樹冠均一度・樹冠密度の情報から離散的に推定し、両者を合算することで林分バイオマスを推定するものである。

カンボジア平地常緑林において、高分解能衛星（ALOS/PRISM分解能2.5m）の二時期比較による違法伐採検知を行った。検知の有用性は地上調査によって確認した。高解像度衛星を利用した違法伐採の検知によって、胸高直径80cm以上の林冠突出木が収奪的に伐採されている現状を空間的に明らかにした。違法伐採対象木の樹冠径は15m以上と大きく、二時期画像の比較によって、樹冠の消失やギャップの出現を精度よく検知できることが示された。

違法伐採による持ち出し量の推定手法を開発した。PRISM画像上で測定した樹冠径と地上測定の胸高直径の間の相関関係を検討するとともに、伐根から胸高直径を推定するアロメトリ式を開発し、違法伐採持ち出し量の推定精度を高めた。

③群落齢モデルに基づく方法では、ラオス北部の焼畑移動耕作地を対象に焼畑休閑林と休閑林を転用したゴム林を対象とした。中分解能以上の画像を用いて裸地の発生時期と場所をモニタリングすることにより、群落齢と群落の炭素蓄積量の関係式を利用して炭素蓄積量変化を推定する手法を開発した。この手法を適用するため、焼畑移動耕作地域における炭素蓄積量の推定フローを開発した（図2）この推定フローは、(i)衛星画像からの焼畑耕作地の抽出、(ii)地上での村落における土地利用ゾーンの特定、(iii)地上測定に基づいた休閑林のバイオマス成長のモデル化、を組み合わせたフローを提案した（図2）。

焼畑休閑林において群落齢を用いる方法が①固定調査プロットを用いる手法より高精度の推定が期待できるのは、低地の休閑20年以下の休閑林が対象の場合であった。移動耕作地では休閑林とゴム林を比較したところ、ゴム林では7年生頃から休閑林のバイオマスを超えることが分かった。安定したゴム林経営により焼畑経営よりも多量の炭素を生態系に蓄積できる可能性がある。焼畑や人工林造成など、群落の成立初期に裸地化する時期を持つ土地利用システムで有効であり、現在増加中のゴム林への転換事例にも適用可能である。

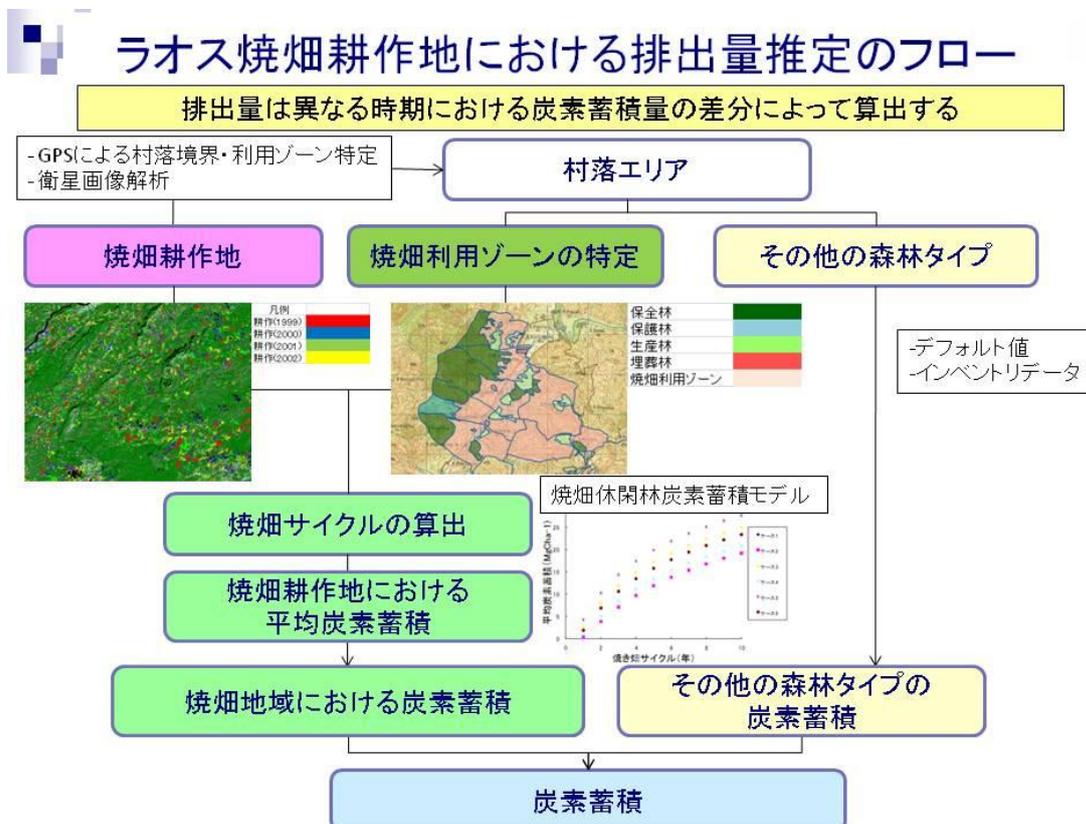


図2 ラオス焼畑移動耕作における炭素蓄積量の推定フロー

4) 手法の特徴と限界、実行可能性の面からの比較検討

1) から 3) の結果をとりまとめ、蓄積変化法のスキームに沿って、リモートセンシングと地上観測を組み合わせる森林をモニタリングし、森林の炭素蓄積量や森林の減少・劣化による炭素変化量を推定する個別手法の特徴と限界、実行可能性をとりまとめた(表2)。中解像度以上のセンサによるリモートセンシングとサンプリングによる地上計測を組み合わせる方法が、最も実行可能性が高いと考えられるが、その反面、サンプリングによる地上計測はコストが高い。このように、技術的視点からみたREDDの実行可能性は、森林減少・劣化の原因とコストとをふまえた手法選択によるところが大きく、対象地域で入手可能なデータを活用した手法選択が重要である。

表2. 排出量評価手法と適用可能性

目的変数	アプローチ		要件	コスト	広域データ取得	技術的問題点	排出量評価手法とその適用可能性				住民参加による評価精度向上の期待
							農地転換	焼畑継続	択伐	燃材採取	
森林面積	土地被覆分類		中解像度以上のセンサ	中	易	・雲があると適用できない	可能	可能	やや可能	やや可能	小
			Lバンド以上のSAR	中	易	・傾斜地に適用できない	可能	可能	?	?	小
単位面積当たりの炭素蓄積量(GHGフラックス)	成長量・損失量法	成長量・損失量	地上計測	?	難	・手法が未確立	?	?	?	?	大
	蓄積変化法	樹冠径	高解像度センサ航空機	高	中	・雲があると適用できない ・樹冠判別の難しい森林がある	やや可能	不可能	限定的に可能	不可能	小
		群落齢	中解像度以上のセンサ	中	易	・焼畑、永年性作物地に限定	不可能	可能	不可能	不可能	小
		地上調査プロット	地上計測	高	難	・プロットの代表性、秘密性に限界がある	可能	可能	可能	可能	大

この結果はdry landの森林に適用する。

リモートセンシングを用いた森林減少面積の推定においては、特定時期の光学センサデータの利用可能性が推定可能性や推定精度に重大な影響を及ぼす。そこで東南アジア熱帯地域における光学センサデータの画像取得性をランドサット衛星のアーカイブ情報を用いて雲なし画像の取得率を算出することにより解析した。さらにより空間的・時間的に詳細に解析するため、高頻度観測MODISデータの2000年から2008年までの9年間の雲マスクを利用し、月別に集計した。リモートセンシングに利用可能な雲なし画像の取得率は東南アジア熱帯地域において著しい地域差が認められた。インドシナ半島内陸部の乾季では取得率が高く、乾季初期など特定の時期に限っても、光学センサによるモニタリングが期待できる。同じインドシナ半島のベトナムや島嶼部の赤道直下のボルネオ島では一年中取得率は低く、データ取得の地域的変異が明確となった。以上をまとめると、REDDの実行可能性はコスト・信頼性を踏まえた手法選択に因るところが大きい。

(2) 森林減少のベースラインの設定手法の検討

REDDにおける炭素クレジット評価の基本要素であるレファレンス・レベルの設定方法を開発することが目的である。そこで、開発するモデルの構造を具体的に設定し、モデルから推定される減少構造を検証するため、タイ国内の3カ所に設置した研究サイトでの調査も並行して行った。

森林減少と政策・社会経済状況との関係を明らかにするマクロレベルでのアプローチでは、森林、農地、未利用区分という3つの土地利用間に非常に強い相関があることを重回帰モデルで証明することができた。これから、マクロレベルでの森林減少予測モデルは、3つの区分の間での、土地利用転換を表現できればよいことを確認できた。

これとは別にレファレンス・レベルのモデル作成にあたって、どの要因が森林減少に影響しているのか、そのプロセスはどのようになっているかを調べるため、タイ北部、西部、東北部にスタディサイトを設けて、航空写真による土地利用の歴史の変遷を調べ、農法の違いが森林減少・劣化に与える影響、森林政策としての国立公園、野生生物保護区の設置が、森林減少・劣化に与える影響

を、国立公園、野生生物保護区内外の森林減少・劣化トレンドを比較することにより明らかにした。区域外に分布する森林の減少傾向を比べたところ、後者の減少度合いが著しいことが解った。

以上の傾向を踏まえて計量経済学手法を使ってモデルを開発し、タイの森林減少がどのような構造によって生じるかを推定することができた。また、モデルにより3つのシナリオに基づいてタイの将来の森林減少傾向を予測することができた。ここで、シナリオ「現行のまま推移」がレファレンス・レベルに相当し、他の2つの政策シナリオとの差がREDD+の炭素クレジットの量になる。加えて、植林に対する農民の動機について分析し、REDD+の下で行政や事業体が植林を推進するための方策を明らかにした。最後に、REDD+においては炭素クレジットを扱う市場メカニズムだけでなく、森林減少と大きくかかわる農民の森林保全活動、行政のモニタリング活動、ガバナンスに関連した能力向上のための資金の提供も重要であることを示した。

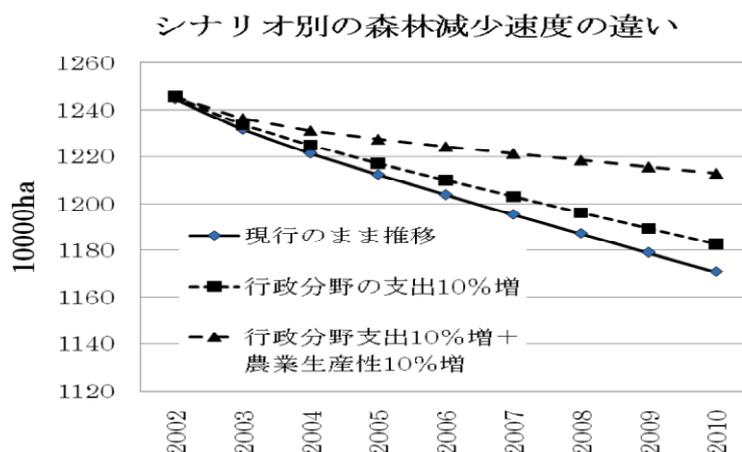


図3 シナリオ別の森林減少速度の違い

(3) 森林減少及び森林劣化の発生のメカニズムの社会経済的分析

カンボジア・ラオスの森林減少・劣化の主要要因として、企業・富裕層・有力者・投資家などによる利潤追求のための商業プランテーション開発・土地投機、地域住民・入植者などによる生活確保のための小規模農地造成・焼畑耕作、違法伐採を含む非持続的な商業伐採、水力発電ダムや鉱山などの施設整備・土地開発があげられた。それらの背景要因として、政治・行政面では、脆弱な森林インフラストラクチャー、性急な開発政策、弱い法執行・ガバナンスが、社会・経済面では、国内外の市場経済の影響、人口・貧困・経済格差の問題、森林へのアクセスの向上が、自然環境面では地勢があげられた。これらの要因間には、連鎖・助長、相互作用、相乗作用などの関係がみられた。両国における要因・発生プロセスには共通するものが多いが、固有の状況もあり、その傾向の差違には、政治・経済体制、政策・財政、経済状況・産業構造、地形、農業システムなどが影響していると判断された。

これらの発生プロセスの分析結果から、森林減少・劣化の軽減には、ガバナンスの失敗の軽減、持続的森林経営や持続的な開発の促進が課題と考えられた。これらをもとにREDD制度が取り組むべき課題を提案した(図4)。国際的議論枠組みに関しては、制度内容面では、国別に柔軟な対応を許容する緩やかな枠組みとしつつも、ガバナンスの失敗を軽減させるような制約やREDDの理念に沿うような森林定義・実行ルールの設定が必要であり、両者のバランスをとることが重要である。また実施体制面では、現場レベルでの支援を行う枠組みの設定、持続的な森林経営・持続的な開発・ガバナンスの向上といった既存のイニシアチブとの連携が有効である。各国内での制度設計に関しては、森林減少・劣化の発生プロセスの正確な理解に基づく適切な対応策の策定、現場レベルでの実行力を高める体制の構築、非森林セクターもカバーする体制の構築、既存の持続的森林経営・持続的開発への取組と効率的な連携を図る体制の構築、地域社会からのより自主的参加を引き出し、また社会的公平を維持・向上させる制度内容の策定とその適切な運用、国境をまたぐ背景要因・リーケージ・負の影響を周辺国等と調整する体制の構築が求められる。

社会経済的視点からは、REDDの実行可能性は、このような制度・政策の設計上のポイントに対する留意や解決よるところが大きい。

REDD制度設計にかかわる重要な視点

- 国や地域によって森林減少・劣化の発生プロセスは異なる
- 法執行力の低さ・ガバナンスの失敗・脆弱な森林インフラストラクチャー（制度・組織）
- 非森林セクターにおける開発政策・行為および社会・経済的問題の森林減少・劣化への影響の強さ
- 社会的・経済的弱者による生活確保のための森林開発行為
- 国境をまたぐ背景要因の連鎖、リーケージ・負の影響の存在
- 持続的な森林経営および持続的な開発への取組の存在



（国際的議論枠組みの設計における課題）

- 国別に柔軟な対応を許容する緩やかな枠組み
- ガバナンスの失敗を軽減させるような制約の設定
- REDDの理念に沿うような定義類等の設定
- 現場レベルでのREDDへの取組を支援する枠組みの設定
- 持続的な森林経営・持続的な開発・ガバナンス向上への既存イニシアチブとの連携



（各国内での制度設計における課題）

- 森林減少・劣化の発生プロセスのより正確な把握・対処
- 現場レベルでの実行力を高める体制の構築
- 非森林セクターもカバーする体制の構築
- 既存の持続的森林経営・持続的開発への取組と効率的な連携を図る体制の構築
- 地域社会からより自主的参加を引き出し社会的公平性を維持・向上させる制度内容・運用
- 国境をまたぐ背景要因・リーケージ・負の影響を周辺国等と調整する体制の構築

図4 REDD制度が盛り込むべき観点

（4） 既存枠組みとガバナンスをふまえた「森林減少の回避」制度の実行可能性の検討

1）ハイブリッド・インセンティブ・メカニズムの提案

本研究で設定した分析視角に基づいた検討により、合理的な制度分析と実際の国際交渉における合意可能性を統合することの必要性和有効性が示された。そして、REDD制度を国家政策として導入する際のインセンティブメカニズムとして、基金メカニズムと市場メカニズムから構成される「ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム（HIM）」を提案した。基金メカニズムの骨子は、国家プログラムの評価（トリプル・ベネフィットおよびレジティマシー（正統性）の観点より）に基づく活動資金の先行付与、および第三者団体による資金付与の監査、である。市場メカニズムの骨子は、炭素クレジットの取引量に上限を設けることと、政府に一定のクレジットを基金に売却する義務を課すことである。このようなHIMとして3つのタイプを提案した。政府がクレジットを獲得した後にインセンティブをプロジェクト関係者（個人、企業、コミュニティ）に付与しないタイプA、資金を事後付与するタイプB、クレジットを事後付与するタイプCの3タイプの制度設計が考えられる。どのタイプも基金からプロジェクト関係者への資金の先行付与は必須である。

2）制度設計のポイント

まずは、トリプル・ベネフィットの観点からプログラムを事前評価し、その結果を基にしてHIM用のプログラムを選択し、さらにインセンティブ分配割合を検討する。そのうえで、各プログラムの「民主性」と「有効性」を改善する方策を検討する、つまりREDDガバナンスのレジティマシー向上策を考案する。これにより、REDD制度の持続性が確保される。その結果、REDD制度が目指すべきアウトカムとしての「トリプル・ベネフィット」を同時達成する可能性が向上する。そして、その成果としてのクレジットをHIMの経済インセンティブとしてプログラムの改善へと投入する。以上のループによって新制度の導入が持続可能な森林管理の実現に貢献する。

3）ラオスにおける政策の事前評価

このHIMをラオスのルアンパバーン県シェンゲン郡で適用するための準備作業として、既存のプログラムをトリプル・ベネフィット観点から事前評価した。検討したプログラムは、①焼畑安定化政策、②土地森林分配事業、③食料確保・商品作物生産事業、④貧困削減事業そして⑤村落移住事業である。

4）インセンティブ分配のためのプログラム優先順位付けの試行

そしてその事前評価の結果に基づき、プログラムの優先順位付けを試行した。このような優先順位に基づいてREDD+プログラムを選択する方法は次の3つが考えられる。①事前評価により高い優先順位がつけられたプログラムだけREDD+用プログラムとして選択する。②高い優先順位のついたプログラ

ムの他にREDD+用の新しいプログラムを導入する。この場合、新しいプログラムへのインセンティブ分配を最も高くし、他へは優先順位に応じて分配することになる。③現存するすべてのプログラムをREDD+用プログラムとして採用し、優先順位に応じたインセンティブを分配する。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

リモートセンシングと地上観測を組み合わせることで森林の炭素蓄積を推定する手法をレビューし、森林減少・劣化の把握の技術的課題を明らかにした研究は非常に少なく、本課題の成果はREDDの実行可能性評価や計画策定における科学的な判断材料となる。

タイにおける森林資源動態に関連する情報を時系列的に整備し、減少のメカニズムを明らかにするモデルを開発することができた。これにより、REDDを実施する際に不可欠なレファレンス・レベルの設定がタイでは可能となった。併せて、データの整備が遅れている国に適用可能な、森林減少の時系列変化のみで推定できる手法についても提案できた。

世界的な森林減少・劣化の傾向の整理・分類をもとに、カンボジア・ラオスにおける森林減少・劣化の要因・発生プロセスを分析し、その分析結果に基づいてREDD制度が盛り込むべき重要な視点と取り組むべき課題を抽出した。

様々なREDD制度について評価基準を明示して分析したことにより、説得力のある制度分析をおこなうことができた。また、REDD事業を前提としたプログラムの事前評価を試行したことは、今後のREDD制度構築に向けた政策研究の一助となる。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究で開発された森林生態系炭素蓄積の推定手法は、REDDのモニタリング手法の構成要素の一つになり得るものであり、その成果を含めUNFCCC REDDワークショップ(2008年6月、東京)、GOFCC-GOLD REDDワークショップ(2008年10月、ドイツ)、林野庁主催国際REDDセミナー(2010年3月)など数多くの国際会議において発表し、国際議論に寄与した。また、森林減少のリファレンスレベルの設定手法について、REDDに関するUNFCCC専門家会合(2008年3月、ボン)において本研究成果である社会経済的モデルを提案したことは、世界各国の交渉担当者などへの問題提起となった。

社会経済的な側面からは、REDD制度導入の視点から森林減少・劣化要因を分析し、REDD制度が解決すべき政策的課題として、ガバナンスの失敗の軽減、持続的森林経営や持続的な開発の促進が重要であることを示した。このことは、今後展開されるであろうREDD+の政策や制度設計に係わる議論に大きく貢献するものである。ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム(HIM)についても、SBATA REDDワークショップ(2008年6月、東京)のポスター発表を通し、その後の基金と市場クレジットの組み合わせという国際議論に新たな視点をもたらした。

UNFCCCのSBSTAにおいて議論されていた方法論に関する文書案について、本研究の成果をふまえた見解を日本政府からの意見を通して上げ、その一部がSBSTAの方法論の合意文書に反映された。また、途上国における吸収源活動(REDD)に関する情報交換会(2009年9月)では、本課題成果であるリモートセンシングと地上調査を組み合わせる森林の炭素蓄積量モニタリング手法の適用条件を提示し、環境省や林野庁、外務省によるCOP15 REDD交渉準備に貢献した。加えて、COP13~15やSBSTA等の国際交渉において、本研究の担当者が代表団として参加し交渉への支援を行った。

以上のように、本研究課題が当初からの目的としたREDDに関する国際的な議論や交渉へのインプットを、的確に実施した。

6. 研究者略歴

課題代表者：松本光朗

1958年生まれ、名古屋大学農学部卒業、農学博士、現在、森林総合研究所温暖化対応推進室長

研究参画者

(1) 1) : 同上

2) : 清野嘉之

1955生まれ、東京大学農学部卒業、現在、森林総合研究所温暖化対応推進拠点 拠点長

3) : 平田泰雅

1962生まれ、東京大学農学部卒業、現在、森林総合研究所森林管理研究領域チーム長

4) : 古家直行

1974生まれ、東京大学農学部卒業、現在、国際農林水産業研究センター林業領域研究員

5) : 伊藤江利子

1973生まれ、京都大学農学部卒業、現在、森林総合研究所北海道支所主任研究員

(2) 1) : 天野正博

1946年生まれ、名古屋大学大学院農学研究科修士課程修了、現在、早稲田大学人間科学学術院教授

2) : 船橋 学

1965生まれ、鹿児島大学農学部卒業、現在、早稲田大学環境総合研究センター客員研究員

3) : 日下部朝子

1975生まれ、愛媛大学農学部、現在、早稲田大学人間総合科学研究所客員研究員

(3) : 横田康裕

1970生まれ、東京大学農学部卒業、現在、森林総合研究所主任研究員

(4) : 井上真

1960年生まれ、東京大学農学部卒業、現在、東京大学大学院農学生命科学研究科教授

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

1) Kiyono Y, Asai H, Shiraiwa T, Inoue Y, Kham V, In Temu AB, Chamshama SAO, Kung' u J, Kaboggoza J, Chikamai B and Kiwia A (eds.) (2008) New Perspectives in Forestry Education. Peer reviewed papers presented at the First Global Workshop on Forestry Education, September 2007. ICRAF, Nairobi Kenya, 432-439 (2008)

"Trade-Offs and Synergy in Slash-and-Burn Farming: A Case Study From Northern Lao People's Democratic Republic"

2) Ito E, Araki M, Tith B, Pol S, Trotter C, Kanzaki M, Ohta S (2008)

"Leaf-Shedding Phenology in Lowland Tropical Seasonal Forests of Cambodia as Estimated From NOAA Satellite Images" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 46:2867-2871

3) Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Itoh E, Araki M, Matsumoto M (2010)

"Carbon stock estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia" JARQ 44(1):81-92

4) Ito E, Furuya N, Tith B, Keth S, Ly C, Chann S, Kanzaki M, Ohnuki Y, Araki M, Niiyama K, Matsumoto M, Sato T, Awaya Y, Kiyono Y, JARQ 44(4) (2010)

"Estimating diameter at breast height from measurements of illegally logged stumps in Cambodian lowland dry evergreen forest" (in press)

5) Amano M., Forest Planning, Vol. 13, 275-278, (2008)

"Expectation of LiDAR on Forest Measurement in Kyoto Protocol"

6) 横田康裕、カンパイ・マニボン、チャンサモン・フォンゴウドメ、百村帝彦、井上真：関東森林研究, 61 (2010)

「ラオスにおける森林減少・劣化要因」（印刷中）

7) 百村帝彦：環境情報科学論文集 23, pp499-504 (2009)

「カンボジアにおけるREDDパイロットプロジェクトにおけるコ・ベネフィットの実効性の検討」

(2) 査読付論文に準ずる成果発表

1) 百村帝彦：生物多様性・生態系と経済の基礎知識- わかりやすい生物多様性に関わる経済・ビジネスの新しい動き（林希一郎編），中央法規，pp245-268 (2009)

「生物多様性と温暖化 - 森林保全策としての森林認証とREDD」

2) 百村帝彦：熱帯アジアの人びとと森林管理制度- 現場からのガバナンス論（市川昌広・生方史数・内藤大輔共編），人文書院，pp.206~221 (2010)

「REDD実施が村落に果たす役割と課題：カンボジアの事例より」

3) Scheyvens Henry, Federico López-Casero, Ibarra Gené Enrique and Hyakumura Kimihiko: Sustainable Consumption and Production in the Asia and Pacific, Institute for Global Environmental Strategies, pp.129-186 (2010)

B-072 森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究

(1) リモートセンシングを用いた森林減少と排出量の推定手法の検討

独立行政法人森林総合研究所

温暖化対応推進拠点	拠点長	清野嘉之
	温暖化対応推進室	松本光朗
森林管理研究領域	チーム長	栗屋善雄（平成19～20年度）
	チーム長	平田泰雅（平成21年度）
	資源解析研究室	古家直行
		（平成20～21年度は、独立行政法人 国際農林水産業研究センター）
北海道支所	植物土壌系研究グループ	伊藤江利子

〈研究協力機関〉	カンボジア国 森林局	Chann Sophal・Meas Makara・Preap Sam・ Tith Bora・Samkol Keth・Ly Chandararity
	カンボジア国 環境省	Thy Sum
	カンボジア国 コンポンチュナン州森林管理署	Chhang Phourin
	ラオス国 林野局	Somchay Sanonty・Soukanh Bounthabandid
	林野庁	志摩俊弘・竹内 学
	独立行政法人 森林総合研究所	佐藤 保・荒木 誠・落合幸仁・ 平田泰雅・鳥山淳平・大貫靖浩
	独立行政法人 農業環境技術研究所	井上吉雄
	農林水産研究情報総合センター	永谷 泉
	国立大学法人 京都大学	神崎 護
	早稲田大学	梅宮知左

平成19～21年度合計予算額 57,833千円
（うち、平成21年度予算額 18,861千円）

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 森林減少・劣化に伴う森林炭素排出量の推定手法について、これまでに提案されている手法をレビューし、東南アジア地域に適用可能な手法として蓄積変化法を適用した手法を提唱した。この手法では、森林の炭素蓄積量を森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量の積により推定し、異なる時点での推定値の差分を取ることで炭素排出量を推定する。現地調査によりカンボジア・ラオスでは違法伐採を含む大径木の択伐、焼畑の休閑年数短縮、ゴム林等農地への転換が森林減少・劣化の主要形態と考えられた。この結果を踏まえ、森林減少・劣化の形態別に異なるアプローチを取る排出量推定スキームを開発し、各手法の特徴と限界、実行可能性をとりまとめた。

森林の面積変化とタイプ区分は中解像度以上のセンサを用いて実施可能であり、既往の森林区分図等の情報の活用が有効である。ただし、東南アジアにおける雲なし画像の取得確率は地域によって異なり留意する必要がある。単位面積当たりの炭素蓄積量の推定は、森林タイプや森林減

少の原因により適切な手法が異なる。本研究では固定調査プロット、樹冠径、群落齢を用いる3つのアプローチを取り上げた。固定調査プロットを用いる手法は、様々な森林タイプおよび森林減少・劣化形態に適用可能な汎用的手法であるが、地上調査にコストがかかる。樹冠径を用いる手法として、高分解能衛星画像から樹冠情報を抽出して林分バイオマスを推定する手法を開発した。この手法は大径木択伐によるバイオマス減少量を推定できる。また、群落齢を用いる手法として、中分解能以上の画像を用いて裸地の発生時期と場所をモニタリングし、群落齢と群落の炭素蓄積量の関係式を利用して炭素蓄積量変化を推定する手法を開発した。焼畑や人工林造成など、群落の成立初期に裸地化する時期を持つ土地利用で有効である。これらの成果をふまえ複数の手法の実行可能性を比較検討し、技術的視点からみたREDDの実行可能性は、森林減少・劣化の原因とコストとをふまえた手法選択によるところが大きいことを明らかにした。

[キーワード] 森林減少、熱帯林、気候変動、カンボジア、ラオス

1. はじめに

森林減少・劣化の主要な形態に過収穫、土地利用変化、焼畑農業の休閑期間の短縮などがある。リモートセンシングを利用した土地被覆変化の把握技術は、まとまった面積で起こる農地や牧草地への転換については実績があるが、東南アジア地域で見られるような、小規模な農地開発、抜き伐りや休閑期間短縮による森林構造変化に関しては課題も残されている。国レベルの広域での時系列の変化を捉える際に、国ごとの既存のインベントリデータ・森林分布図等の利用可能性やその地域でのリモートセンシングデータの取得状況が実施スキームを決定する大きな要素となる。そこで、本研究では、現地調査および現地での既存データ・衛星データ等の取得状況・利用可能性を踏まえながら、森林減少とそれにもなう排出量の推定フローを提案する。

2. 研究目的

本課題では、メコン川周辺国に設定したフィールドにおいて森林減少・劣化の概要を把握し、森林減少・劣化にもなう生態系炭素蓄積の変動を時間軸に沿って評価するとともに広域に適用する手法を開発するための技術的課題を明らかにすることを目的とする。このため、インドシナ半島に位置するカンボジアとラオスをテストサイトとした(図1-1)。カンボジア中央部には比較的平坦な地形に常緑林を中心とした森林が残されている。以前は生産林として択伐施業が実施されていた地域であるが、伐採コンセッションが中止され管理が行き届かなくなっている。このため、周囲からの開発圧力が強まるとともに小規模な農地開発が虫食い状に発生し、それらが合わさり拡大する形で森林減少が進行している。伐採コンセッションが中止された地域には経済樹種の大木が多く残されており、近年違法伐採による森林劣化が著しく進行している地域でもある。更に近年では世界的な原油の価格上昇、中国の経済発展等の影響を受け、バイオエタノール原料となるキャッサバプランテーションや、ゴムプランテーションの拡大が認められている。一方のラオスでは北部の山岳地域を対象とした。東南アジアでは山岳地域を中心として焼畑移動耕作が営まれてきており、ラオス北部でも焼畑移動耕作が広く実施されている。北部ラオスを中心として、これまで利用されていなかった地域への耕作地の拡大や休閑期間の短縮が生じ、焼畑移動耕作が森林の減少・劣化の一因とされている。しかしながら、焼畑移動耕作の空間的な細かさや利

用強度の違い、移動性などから、その関連性は十分明らかになっているとは言えない。

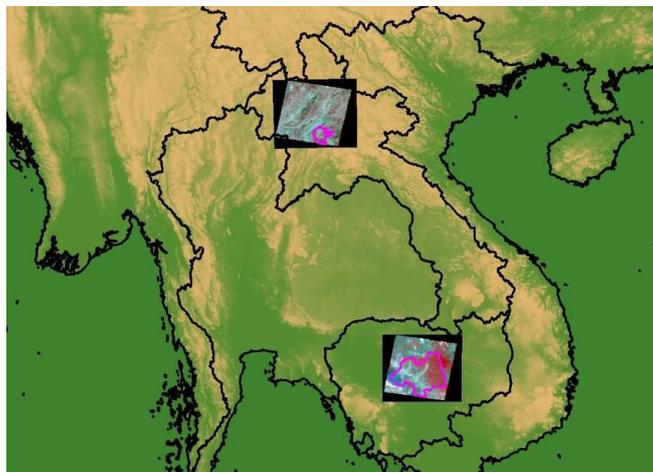


図1-1 研究対象地（北がラオスのテストサイト（ルアンパバーン県シエンゲン郡）、南がカンボジアのテストサイト（コンポントム州））

3. 研究方法

（1）森林減少・劣化とそれによる排出量の推定手法

炭素蓄積のモニタリング手法についてレビューを行い、研究対象地であるカンボジアとラオスに適用可能な手法を検討した。森林減少・劣化の直接原因を現地調査により明らかにした。また炭素蓄積量推定の前提となる適切な森林タイプ区分を、現地調査や共同研究機関との討議により検討した。森林減少・劣化の原因形態に応じた炭素排出量推定手法を複数提案した。

（2）リモートセンシングを用いた森林面積の推定・森林タイプの区分

現地における既存の図面や利用可能な空中写真や衛星データの撮影状況を把握し、森林面積・タイプ区分に適用可能な手法を考察した。衛星データの数値解析の結果は目視での判読性に大きく関係している。このため、現地で入手可能な最も詳細な過去の状況を表す空中写真および近年の高分解能衛星データを入手し、テストサイトにおける判読作業を実施し、森林減少・土地利用変化の発生パターンを把握した。また、これらの高解像度画像取得時期にほぼ対応する時期に撮影された中分解能衛星データを入手し、高解像度画像と中分解能衛星データの森林変化・土地利用判読性の比較を行った。比較に使用した中分解能衛星データは、ランドサット衛星画像（1993年および2002年）およびALOS/AVNIR-2（2008年）である。最後に、現地で作成されている森林分布図を活用し非変化域からトレーニングエリアを抽出し、最尤法にて森林タイプ区分を行い、時系列での森林面積割合の推移を把握した。

（3）単位面積当たりの炭素蓄積量の推定

東南アジア地域に特徴的な森林減少・劣化の形態を現地調査によって明らかにし、各形態に適合した炭素蓄積量の推定手法を提案した。実際に現地の森林減少・劣化事例に適用し、手法の特徴と精度向上の課題を明らかにした。

固定調査プロットを用いる方法は様々な森林・利用タイプに適用可能な汎用的手法である。カンボジアで現地の固定プロット調査結果を利用して、国レベルの推定を行い、カンボジアの主要な森林タイプである常緑林と落葉林における平均炭素蓄積量を算出した。当該地に適用可能なバイオマス炭素量推定式を示し、炭素蓄積量を有意に区分するために必要な固定プロット数を推定することで、コスト・精度を含めた具体的な提案を国レベルで行った。

樹冠径を用いる方法はカンボジアにおける大径木違法伐採に伴う森林劣化に適合した手法である。この手法では、高分解能衛星画像の判読で得られる樹冠情報を用いて林分バイオマスを推定する。カンボジア中央部森林地域に実施した現地調査に基づき、林分構造の解析により判読可能な上層木の樹冠情報のみから林分全体の樹木バイオマスを推定する手法を構築した。分解能 2.5m の高分解能衛星データ ALOS/PRISM を用いて、二時期比較による違法伐採検知手法を開発した。違法伐採によるバイオマス蓄積減損量と残存木成長を推定し、炭素排出における違法伐採インパクトの評定を行った。違法伐採による炭素排出量推定の精度向上のため、バイオマス推定の主要パラメータである胸高直径を残存する伐根から推定するアロメトリモデルを作成した。

群落齢を用いる方法はラオスにおける焼畑休閑年数の短縮に伴う森林劣化およびゴム林への農地転換に伴う森林減少に適合した手法である。群落の成立初期に裸地化する時期を持つ人為干渉では、裸地の発生時期と場所をモニタリングすることにより、群落齢と群落炭素蓄積の関係式を利用して炭素蓄積変化を推定できる。焼畑では休閑年数を用いて休閑林の炭素蓄積量を地域レベルで推定できる¹⁾。ラオス北部（ルアンパバーン県、ウドンムサイ県、フアパン県でデータを収集した）で作成された既存の推定式²⁾について、新たにルアンパバーン県で 15 カ所の休閑林で群落高を調べて炭素蓄積量を推定し、推定式を検証した。また、村の放牧専用地の整備に伴い焼畑休閑林への放牧を中止する地域が認められはじめた北部ラオスにおいて、ルアンパバーン県シェンゲン郡の 70 村をサンプルに選び、放牧の現状と履歴についてアンケート調査を行った。以上の地上調査に基づいた炭素蓄積変化モデルを利用し、GPS を利用した村落土地利用ゾーンの特定と多時期衛星画像からの当年焼畑耕作地の抽出を組み合わせ、焼畑サイクルから炭素蓄積量を推定した。

（４）手法の特徴と限界、実行可能性の面からの比較検討

本課題における個別手法のレビュー・現地での事例に基づいたデータの利用可能性を含めた検討結果に基づき現状での各手法の特徴と限界、実行可能性についてとりまとめた。当該地域における REDD スキーム構築上、特に留意すべき点として、光学センサを用いた森林減少・劣化のモニタリングスキームを検討した。光学センサのデータ取得可能性はモニタリング可能頻度を規定するとともに、モニタリングの推定精度にも影響を及ぼす。このため直接的なコスト面とは別にデータ取得可能性について検討する必要がある。そこで、まず、過去のランドサット TM 雲なし画像の取得状況に基づいて、データ取得の季節性や地域性を明らかにした。次に、地域的に詳細な検討を加えるため、高頻度観測 MODIS データの 2000 年から 2008 年までの 9 年間のデータセットを作成し、データ取得の地域性・季節性を明らかにした。また、高解像度衛星画像を用いた樹冠径判読による炭素量推定の実現可能性をサンプリングメソッドの観点より検討した。

4. 結果・考察

(1) 森林減少・劣化とそれによる排出量の推定手法

これまでに提案されている炭素蓄積のモニタリング手法をレビューし、東南アジア地域に適用可能な手法を示した。IPCCガイドライン³⁾が示すように、炭素蓄積のモニタリング手法には成長量-損失量法（gain-loss法）と蓄積変化法がある。前者は、成長による吸収と伐採など攪乱による排出の差を吸・排出量とする。これを用いるには、林地生産力や伐採量、森林火災などのデータが必要であるが、違法伐採などによる森林劣化では伐採量の把握が難しい。東南アジア地域では炭素蓄積量の変化を吸・排出と捉える蓄積変化法の適用が有効と考えられる。

現地調査により違法伐採を含む大径木の択伐、焼畑の休閑年数短縮、ゴム林等農地への転換が森林減少・劣化の主要形態と考えられた。この結果を踏まえ、蓄積変化法の利用を前提として、調査地であるカンボジアとラオスで実行可能な具体的スキームを森林減少・劣化の形態別に提唱した。森林減少・劣化とそれによる排出量の推定フローを図1-2に示す。この推定フローにおいて取るべき手順は、（1）リモートセンシング等により、森林タイプや利用タイプを区分し、各区分の森林面積を把握する、（2）森林タイプ・利用タイプごとの単位面積当たり炭素蓄積量を3つの方法のいずれかで推定する。炭素蓄積量の推定手法は、森林減少・劣化の形態に応じて適切なものを選択する、（3）両者に乗じて森林タイプ別の炭素蓄積量を把握する³⁾、となる。森林減少・劣化のトレンドや炭素吸排出量は、この推定フローを時系列的に繰り返して得られる炭素蓄積量の差分から推定できる。この手法は、森林面積を森林・利用タイプで適切に層化すること、単位面積あたりの炭素蓄積量を適宜更新することにより、精度向上を期待できる。

森林減少・劣化による排出量推定のフロー

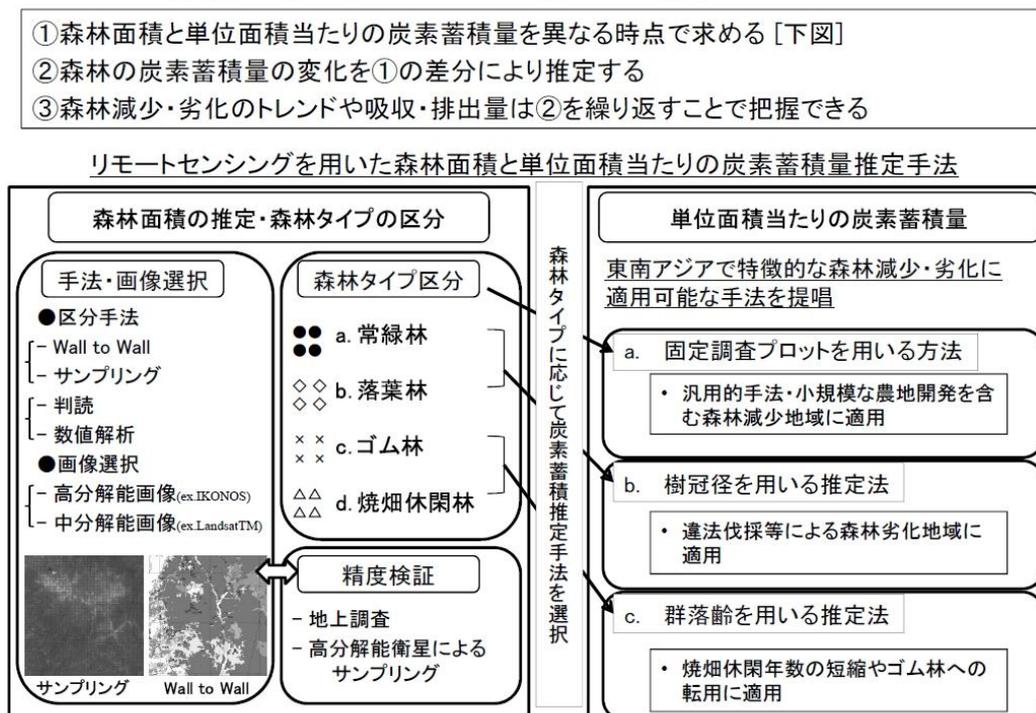


図 1-2 森林減少・劣化とそれによる排出量の推定フロー

提案した3つの炭素蓄積量の推定手法は、様々な森林・利用タイプに適用可能な汎用的手法（固定調査プロットを用いる方法）と、より地域的な個別の森林減少・劣化事例に適用する手法（樹冠径を用いる方法、群落齢を用いる方法）に分類できる。なお、単位面積当たり炭素蓄積量の推定手法に関しては、SARの後方散乱係数を用いる方法と高さを用いる方法も別課題（B-082）において提案・検討されている。

（2）リモートセンシングを用いた森林面積の推定・森林タイプの区分

1) 広域森林モニタリングに利用可能な現地空間情報の整理

具体的にカンボジアにおける図面作成・データ取得状況を示す。カンボジア森林局では1993年より数時期において全国規模での森林分布図が作成されている。これはランドサット衛星を中心とした中分解能衛星データの判読作業により作成されたものである。近年では2002年および2006年に森林分布図が作成されており、これらを用いて森林分布の推移が報告されている。小規模な土地被覆・利用の変化を捉えるには中分解能（10-30m程度）以上の衛星データを利用することが必要である。アメリカ地質調査所（USGS）のWebサイトにおいて、オルソ補正済みランドサット衛星が公開されダウンロード可能であり、有用性が高い。ランドサット衛星は16日周期で基本的に定期観測が実施されており、一度の撮影範囲も185km幅と広いと、大変利用しやすい。カンボジアであれば、10数シーンでカバーされる。ただし、90年代の画像は、タイのGISTDAにおいてデータの保管・販売がされており、購入が必要であるとともに、オルソ補正等の処理を別途実施する必要がある。また、2003年以降のランドサットETM+はスキャンライン補正システムの故障によって、画像内にデータ欠損が生じている。ただし、1回の撮影での撮影範囲は広く、撮影時期が近い画像が利用可能で欠損箇所を補完できる場合もある。また、ランドサット5号は画質が劣化しているものの現在もデータが取得されている。最近の衛星では、スポットやASTER、ALOS/AVNIR-2など10-20m程度の解像度を持つものが多く、解像度の向上に伴い地物の判読性は向上しているが、森林タイプ区分に有効とされる中間赤外域の観測波長帯を持たない場合もある。さらに、多くの場合撮影幅が60-70km程度の場合が多く、ランドサットと同じ185km幅をカバーするには単純に3ラインが必要となる。それぞれに幾何補正・大気補正、雲マスクの作成等の前処理が必要となるため、作業量は大幅に増大する。また、撮影時期が異なると、撮影時の大気の状態や地物の状況も変化するため、画像処理に際してもそれぞれの画像ペアごとにパラメータ設定を決める必要が生じてくる。結果として、解析精度も画像ごとに決定されることとなる。

利用可能な高解像度データとしては、空中写真の撮影が1993年前後と2002年前後に全国規模で実施されている。高分解能衛星データとしては、イコノスやクイックバードといった民間の衛星が1999年頃から相次いで運用が開始されているが、本研究にて新規撮影を実施した箇所を除けば、森林地域における取得は極めて低かった（図1-3）。また、斜め観測が及ぼす影響についても指摘されている。一方、これより空間分解能が劣るが、2.5m解像度のスポット衛星やALOSのPRISM画像等では広範囲のカバーを目的としたデータ取得が実施されているため、2000年代についてはテストサイトでも数シーンが取得されていた。ブロックノイズの発生など画質に課題があるが、常に直下観測が実施されているALOS/PRISMは時系列での比較がしやすい特徴を持っていた。これらの高分解能データがアクセス困難な地域の検証データや後で挙げるような炭素蓄積量推定モデルに

適用可能なデータとなる。ただし、乾季中に取得機会が高いが乾季中での取得時期を任意に選択できる状況ではなかった。乾季は撮像適期であると同時にカンボジアで違法伐採が集中する農閑期でもある。このため乾季始めの画像と乾季終わりの画像では期間的には数ヶ月しか離れていなくとも、違法伐採量的には1年分の隔たりが生じる。高分解能衛星画像を用いた炭素量推定で想定される解析頻度は3-5年程度と考えられる。このような短い期間の比較においては撮像時期の前後による推定誤差は深刻な過大/過小推定をもたらさう。データの解釈にあたってはこのような地域特殊性を十分に配慮する必要がある。

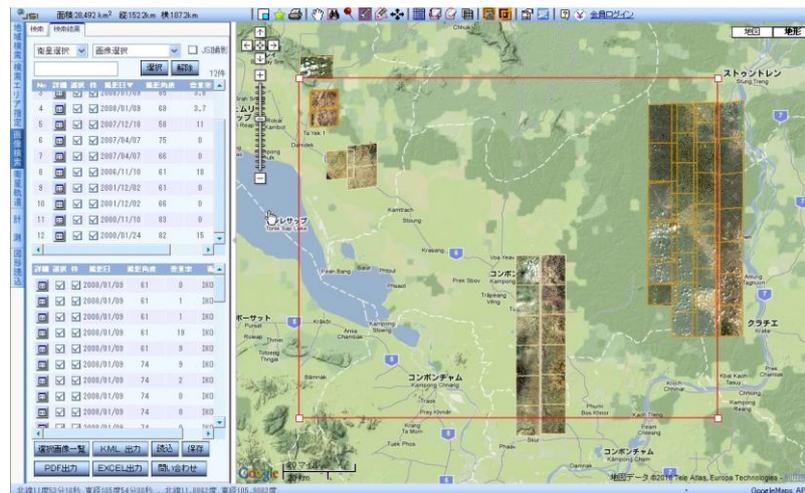


図1-3 高分解能衛星データの取得状況（イコノス衛星画像検索画面、カンボジア中央部）
（大枠で囲まれた範囲が検索範囲。背景は地図画像で東側および北部に森林が分布。2000年1月から2010年5月までの取得画像（被雲率20%以下）。）

2) 解析手法のレビュー

衛星データを利用した森林のモニタリングについては多くの報告がある⁴⁾。それらの知見を要約すると、数値解析により森林変化を把握するには2時期の衛星データの差分をとる方法が最も精度が高いが、この方法ではどのように被覆が変化したかが分からない。2時期の衛星データを分類して比較する方法では変化の把握精度は下がるが、被覆タイプを把握することが可能である。解析精度は変化面積に依存し、変化面積が10画素分よりも狭い場合は精度が悪化する。また植生の季節変化が経年変化として誤認されることが解析精度を劣化させる主要な要因である。日本の森林を対象とした研究結果では赤の波長帯で季節変化が小さく、その差分が経年変化の把握には適していた⁵⁾。森林タイプの区分では、分類カテゴリが多くなるほど分類精度は下がる。ところで、各国では空中写真や衛星画像を利用して何らかの森林分布図を作成している場合が多い。また、不定期であるが、過去に空中写真撮影や地上でのインベントリを実施しているケースもあり、既存データを活用することは途上国におけるモニタリングの設計において合理的である。最近では高分解能画像の利用可能性も高まり、これらを用いた新規図面の更新も期待される。しかしながら、例えば目視判読より作成された既存の森林分布図では、判読結果には、1.判読者の技量依存性、2.最小図化単位の存在、3.区分カテゴリの不一致、4.位置誤差（図面・判読結果の入出力に伴うエラー）、などの制限要因があり、二時期の結果を単純に比較することで経年変化を明らかに

することは一般に困難な場合が多い。判読には上記のような課題がある一方で、広範囲のモニタリングには、現実問題として現状では異なる衛星・画像タイプを使用することが必要となるケースが想定されるが、このような場合にも目視判読であれば汎用性が高く利点も多い。

3) 高解像度および中分解能衛星画像の目視判読

a 目視判読による森林減少の把握

カンボジアテストサイトにおいて高解像度画像を用いて目視判読により森林減少の把握を行った。高解像度画像データとして、1992年および2002年の空中写真（モノクロ）を収集し、オルソ化処理を実施した。また、2008年については、ALOS/PRISM画像を入手し幾何補正を行った。1kmの格子点について土地利用および森林タイプを判読した（1119 km²）（図1-4、表1-1）。

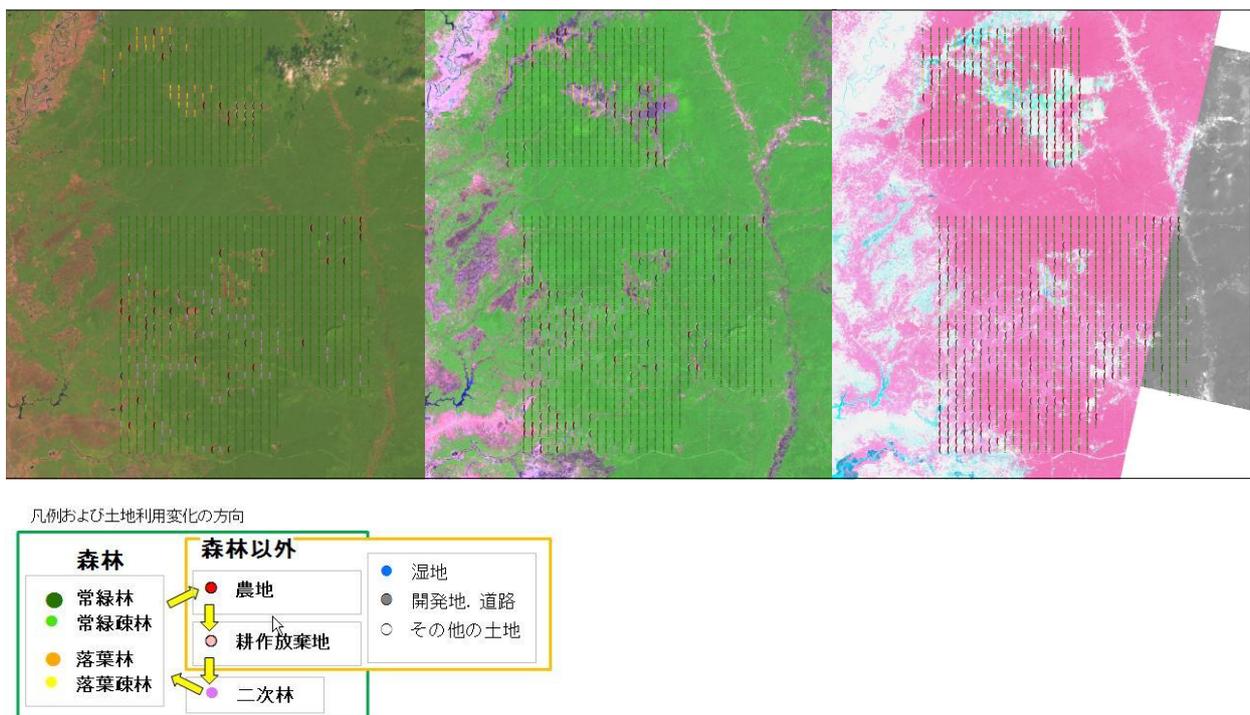


図1-4 1992-2008年における土地利用の変化状況（高解像度画像データの判読結果）

表1-1 1992-2008年における土地利用面積の変化（高分解能データの判読結果）

[km ²]	1992	2002	2008
常緑林	977	968	813
落葉林	22	21	21
二次林	56	30	23
農地・耕作放棄地	58	91	250
その他	5	5	12

b 高解像度画像と中分解能衛星データの森林変化・土地利用判読性の比較

中分解能衛星データの判読では、小規模な湿地・開発地（主に道路）・その他の土地（主に裸地）が判別されず、森林へと誤分類されるケースが見られた。また、農地・放棄地・二次林の判別が難しい場合があった。この結果、森林と農地の誤分類が相互方向に生じたが、農地を森林とする誤分類の方が多かった。この場合炭素蓄積量は過大評価となる。中分解能衛星データでは、1. 樹木の密度が分かりにくい、2. 樹冠が識別できない、3. 高さが分からない、などの困難がある。ただし、10-15m程度の解像度を持つ場合には、林分構造の発達による林冠の凹凸が画像に表れるため、判読性は改善される。森林タイプについては、常緑林、落葉林の区別は色調の違いからモノクロの航空写真よりも判別が容易となった。

高解像度画像を用いた森林減少の判読事例を図1-5、図1-6に示す。高解像度画像の判読では、森林タイプについては、常緑・落葉の区別が難しい場合があった。これはモノクロ画像のため、地面と林冠の区別がしづらいことが原因である。同様に、モノクロ画像のため、水の有無が判別しがたいことにより、森林タイプと湿地・その他の土地（湿地周辺が干上がった裸地）の区別が難しい場合があった。その他、人工林の区分に際し、現地では、幼木時はダイズ等が人工林に混植されており、判断に迷う場合があった。細部の森林タイプ区分では、耕作地・耕作放棄地・二次林の区分で困難が生じた。周囲の農耕地等の人為利用の形跡等、人為利用が過去か現在進行かを加味して判読することが多く、判断基準が複雑となることが要因である。高解像度画像判読における個人差が大きいパターンとしては、耕作放棄地（森林に回復）と農地の区分で個人差が生じた。また、人工林と農地の区分においても個人差が生じた。人工林は区画形状なども判読キーとなるが、現地経験の有無が判読結果を分けた。このように、高解像度画像上でも土地利用の判断が困難な場合や、例えば、今回の耕作放棄地や人工林植栽など土地利用が確定・把握されるまでにタイムラグが生じる場合もある。また、一般に解像度の向上によって地物の判読性は高まるが、モノクロの画像の場合には判読が困難となる場合もある。同様の結果は日本国内の森林吸収源ARD調査においても指摘されている（スポットパンクロ画像における森林と草地の誤判別等）。

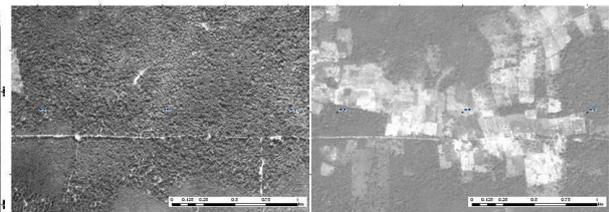
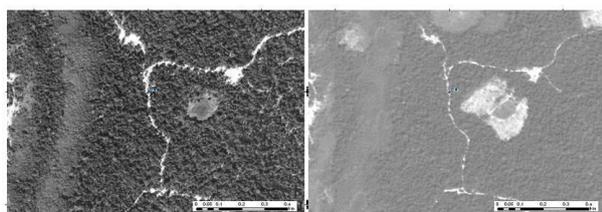
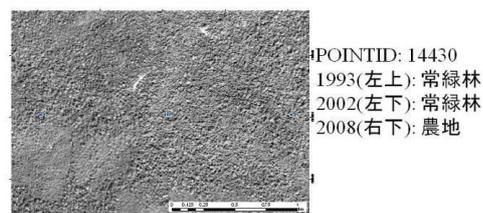
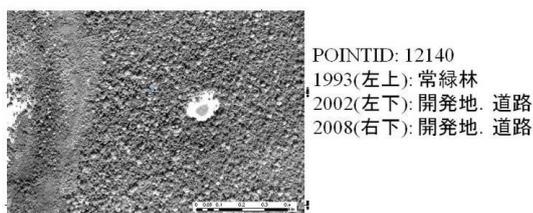


図1-5 森林減少事例1（道が入り、窪地の水たまり周辺に農地が開墾されている）

図1-6 森林減少事例2（コンセッションの道路を利用して近年住民が侵入し農地開発が進む）

判読における所要時間はいずれの場合も平均して1点につき1分弱（見直し確認時間を含む）を要した。広域に分布する単調な常緑林のエリアでは短くて済むが（1点あたり26秒）、モザイク状に混在しているエリアで判読に時間がかかる。また、先に挙げたようなそれぞれの画像で判別が得意でない箇所において、周囲の情報等を確認・加味して判読するため時間がかかった。ディスプレイ上での判読には縮尺（1:10,000前後）が適していた。これは詳細を確認できるとともに、周囲の情報を同時に入手できるためと考えられる。

4) 森林タイプ区分

1992年から2009年までの5時期のランドサット衛星画像（TMおよびETM+）を利用して、最尤法にて森林区分図を作成した。2002年森林分布図（カンボジア森林局作成）を参照データとして、変化の見られない箇所からトレーニングエリアを抽出し、各画像の森林分布図を作成した（森林タイプは「常緑林」、「落葉林」、「その他森林（二次林）」とした。）（図1-7）。森林区分図の集計から算出した1992-2009年の森林面積割合の推移を図1-8に示す。土壌水分環境に優れる常緑林が農地として開発された後、一部は放棄されて二次林となる様子がうかがえる。（3）1）で後述する通り、常緑林と二次林では炭素蓄積量に大きな違いがある。テストサイトの炭素蓄積量は単純な森林面積（森林率）の推移以上に減少していると言える。

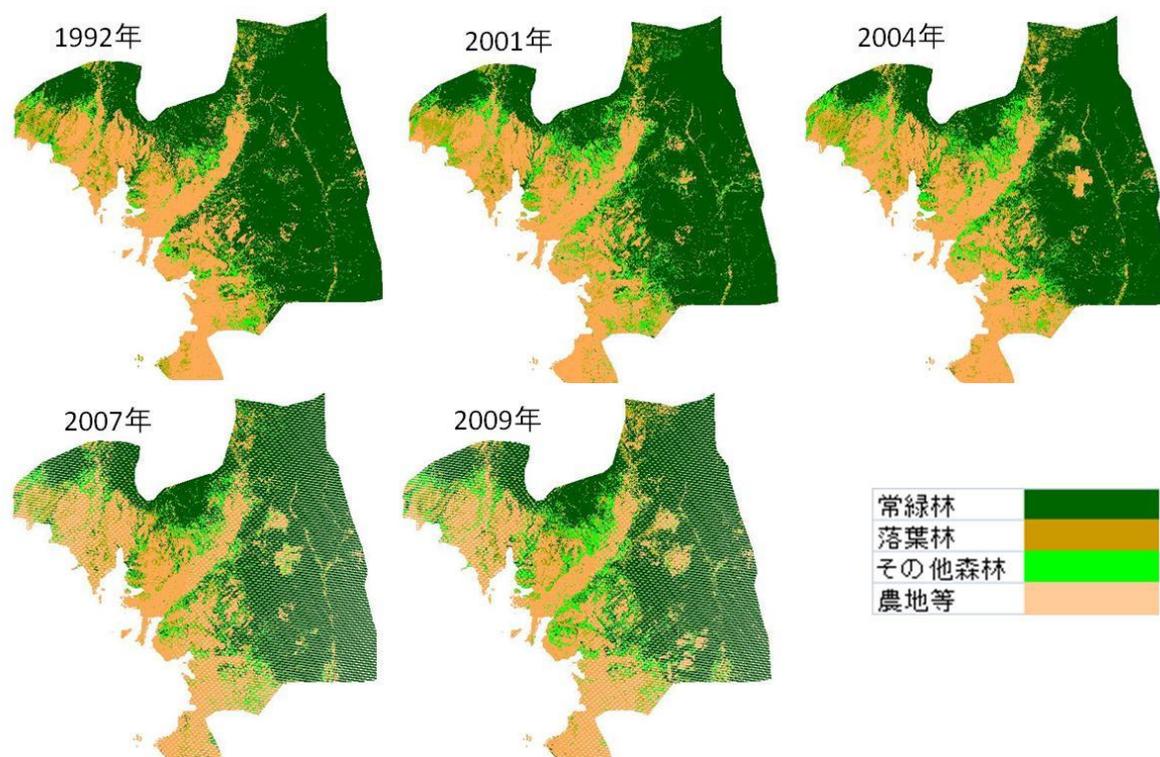


図1-7 1992-2009年の森林分布図

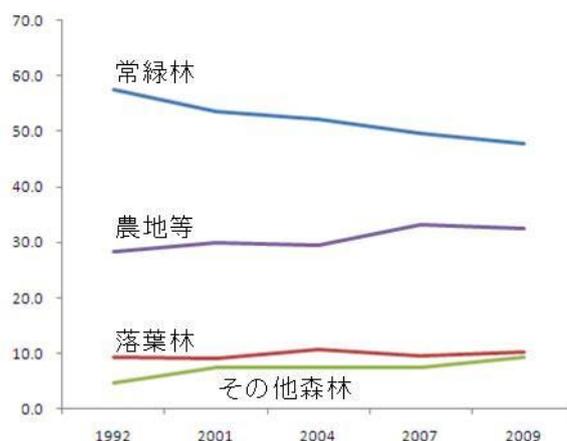


図1-8 1992-2009年の森林面積割合の推移

(3) 単位面積当たりの炭素蓄積量

1) 固定調査プロットを用いる方法

a バイオマス炭素量推定式

カンボジアの森林タイプごとに設定された固定試験地の毎木調査データ等を利用し、主要な森林タイプである常緑林と落葉林、および森林減少・劣化後の形態である二次林について、高木バイオマスをアロメトリ式で推定し、下層植生と枯死木、リターは破壊調査で炭素蓄積量を求めて集計し、平均値と標準偏差を算出した。土壌炭素はデータが取られていないため本課題では考慮していないが、地球環境研究総合推進費の別課題 (B-082) において実施している。算出にはカンボジア国環境省提供のパーマネントプロットデータを利用した。プロット数は常緑林 5 個、落葉林 6 個、二次林 6 個の計 17 個、各プロットの面積は 2,000 m²であった。DBH ≥ 5 cm の高木個体を対象とし、以下の一連のアロメトリ式⁶⁾を用いて、高木バイオマスを推定した。

$$\begin{aligned}
 \text{Leaf weight: } W_l &= 173 \, ba^{0.938} & (n = 509, R^2 = 0.780, P < 0.001) \\
 \text{Branch weight: } W_b &= 0.217 \, ba^{1.26} D^{1.48} & (n = 509, R^2 = 0.910, P < 0.001) \\
 \text{Stem weight: } W_s &= 2.69 \, ba^{1.29} D^{1.35} & (n = 509, R^2 = 0.971, P < 0.001) \\
 \text{Root weight: } W_r &= 0.500 \, ba^{1.20} D^{1.33} & (n = 509, R^2 = 0.943, P < 0.001) \quad \text{式 1} \\
 \text{ba: basal area, m}^2; & D: \text{basic density; Carbon fraction: 0.5}
 \end{aligned}$$

b 主要森林タイプの平均炭素蓄積量

主要な森林タイプにおける 4 つの炭素プールの現存量 (Mg ha⁻¹) および系全体の炭素蓄積量 (Mg C ha⁻¹) を表 1-2 に示す。炭素蓄積量は各森林タイプ間で有意な差が認められ ($P < 0.016$)、落葉林と二次林の炭素蓄積量はそれぞれ常緑林の 2/3 および 40% 弱程度であった。また炭素量の大部分 (84 ± 12%) は高木バイオマス内に蓄積していることが示された。

表 1-2 カンボジアにおける主要森林タイプのバイオマスおよび炭素蓄積量

森林 タイプ	n	高木バイオマス (5 cm < DBH・全木)		下層植生バイオマス (全木)		枯死木量		リター蓄積量		炭素蓄積量 (土壌炭素量を除く)	
		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹		Mg C ha ⁻¹	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
常緑林	5	414.9	93.9	13.4	2.3	10.9	11.4	42.3	24.8	228.6	48.1
落葉林	6	281.2	99.4	6.7	3.5	1.7	2.0	30.7	11.2	152.8	48.9
二次林	6	140.5	59.9	11.9	5.8	1.2	2.6	23.1	11.9	79.4	28.7

c 必要な固定プロット数の推定

国レベルのバイオマス推定に必要な各森林タイプのプロット数 n_i は下式で計算できる⁶⁾。

$$n_i = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{A_i}{AP} \cdot st_i \cdot \sqrt{C_i}}{\left(\frac{A}{AP} \cdot \frac{E_1}{z_{\alpha/2}} \right)^2 + \sum_{i=1}^L \frac{A_i}{AP} \cdot (st_i)^2} \cdot \frac{\frac{A_i}{AP} \cdot st_i}{\sqrt{C_i}} \quad (\text{式 2})$$

ただし、 i は階層、 L (=2) は階層数、 A_i は各植生タイプの面積（常緑林：3,668,902 ha、落葉林：4,692,098 ha、両者の合計が A ）、 AP はプロット面積（0.2 ha）、 st_i は各植生タイプのバイオマス平均値の標準偏差、 C_i はプロット設定コスト（常緑林：800 US ドル、落葉林：700 US\$）、 E_1 は推定量の許容誤差（バイオマス平均値の 10%）、 $z_{\alpha/2}$ は統計値 z (=1.9599)。

カンボジアでは 26 個（常緑樹林 11 個、落葉樹林 15 個）のプロットを設置し、モニタリングすることにより、森林の炭素蓄積量のトレンドを国レベルで信頼しうる精度で把握できることが分かった⁶⁾。プロットの設置コストは 1 点あたり約 800US ドルでその大半は調査のための車代である。比較的安価に国レベルの値が得られることが明らかになったので、森林のインベントリの整備がまだ不十分な国においては、本法はインベントリ把握の合理的な手法の一つといえる。ただし、現在は小数のデータにもとづいた算定であるので、今後データを増やして検討する必要がある。その際に、森林・利用タイプの適切な階層化により、階層内のばらつきを抑えると、より省力的あるいは精度の良い推定が期待できる。

2) 樹冠径を用いる方法

a 地上計測に基づいた推定モデルの作成

カンボジアの平地常緑林地域ではフタバガキ科大径木の違法伐採が頻繁に認められており、大径木バイオマスが林分バイオマスに占める割合は非常に大きい（表 1-3）。カンボジア・コンポントム州における違法伐採などによる森林劣化に対して高い検出力が期待できる手法として、リモートセンシングデータから検知可能な樹冠径の測定および樹冠密度の判読に基づく林分バイオマス推定手法を考案した。地上計測に基づいた現地調査に基づいた林分構造の解析により、上空から判読可能な上層木樹冠情報のみから林分全体の樹木バイオマスを推定する手法を構築した。樹冠径と樹冠密度を用いた林分バイオマス推定フローを図 1-9 に提示する。この手法では高分解能衛星画像の判読によって得られる情報を用い、大・中径木群バイオマスと小径木群バイオマス

を別個に推定する。大・中径木群バイオマスは最大樹冠径情報から回帰的に推定する。樹冠径から個体バイオマスへの換算式は後述するアロメトリ式を用いた。小径木群バイオマスは樹冠被覆度・樹冠均一度・樹冠密度の情報から離散的に推定する。この手法は判読作業が簡易であるとともに、樹木個体バイオマスが 0.06-530 Mg ha⁻¹ と非常に広い範囲に渡る諸林分に適用可能な手法である。

表1-3 カンボジア・コンポントム州に設置した毎木調査プロットにおける直径階別バイオマス現存量（大径木は胸高直径60cm以上、中径木は胸高直径60cm未満30cm以上、小径木は胸高直径30cm未満5cm以上）

森林タイプ	林分の特徴	小径木	中径木	大径木	合計	大径木バイオマス割合	
		個体密度 tree ha ⁻¹	バイオマス Mg ha ⁻¹	バイオマス Mg ha ⁻¹			バイオマス Mg ha ⁻¹
常緑林	大径木・高密度	1600	91.78	25.97	412.52	530	0.78
常緑林		1992	110.34	81.06	136.35	328	0.42
落葉林	中径木・低密度	342	43.67	94.88	38.16	177	0.22
落葉林		350	53.03	105.46	0	158	0
常緑疎林	中径木・低密度	250	15.02	25.22	79.03	119	0.66
常緑二次林	小径木・高密度	983	62.82	45.03	0	108	0
灌木林	小径木・低密度	125	2.37	0	0	2.37	0
灌木林		8	0.06	0	0	0.06	0

樹冠径を用いたバイオマス推定プロセスにおける推定誤差要因を、地上計測で得られた知見の観点より検討した。まず、樹冠径から個体バイオマスを推定する際に生じる誤差が考えられる。今回の推定では樹冠径から個体バイオマスへの換算は推定アロメトリ式 (Tree Biomass [kg] = 5.29 BasalArea^{1.24} [m²] BasicDensity^{1.28} [kg m⁻³])⁷⁾を用いて算出した。推定パラメータに含まれる BasicDensity (材密度) は樹種によって大きく異なる⁷⁾。今回は材密度にフタバガキ科伐採対象樹種 (*Anisoptera costata*) の値(0.57)⁸⁾を代入して個体バイオマスを求めた。しかし、この手法は二次林で過大推定をもたらす可能性がある。二次林構成種には成長の早い早生樹が多く、一般的に早生樹の材密度はより小さい傾向があるためである。一部の有用材を除いて、二次林構成種の材密度データは乏しい。材密度に由来するバイオマス推定誤差を減らすためには、必要に応じて材密度データを調査・収集し、現地生態情報を反映させる必要がある。また、樹冠径と胸高直径の非対応に由来する推定誤差が考えられる。樹冠径と胸高直径の相関関係は被圧木で低いが、林冠木の樹冠径情報を利用する今回の推定プロセスでは誤差要因とはならない。他方、林冠木の樹冠が損傷していた場合にはバイオマス過小推定のおそれがある。樹冠の損傷は自然状態では主に雷によるもので、ランダムな確率的誤差と捉えてバイオマス推定係数に反映させるのが対応策である。違法伐採地域では大径木1本の伐採に伴い、伐採木の長さ(20-35m)を長径、樹冠

幅（15-30m）を短径とする楕円形の範囲で、周辺個体の樹冠が損傷することが現地調査で確認されている。違法伐採は狭い範囲で収斂的に起こるため、ランダム誤差とは扱えない。樹冠損傷に起因する誤差の解決にはさらに検討が必要である。また、技術上の問題点としては、林分の森林構造を適切に推定しうる樹冠判読本数等の決定には統計学的な検証が必要であること、閾値以上の樹冠径（例、10m 以上）ないしは閾値以上の樹冠径個体本数、等の推定パラメータの判読精度は林冠密度や林分構造に依存して大きくばらつくことが挙げられる。これらの課題に対しては更に検討が必要である。

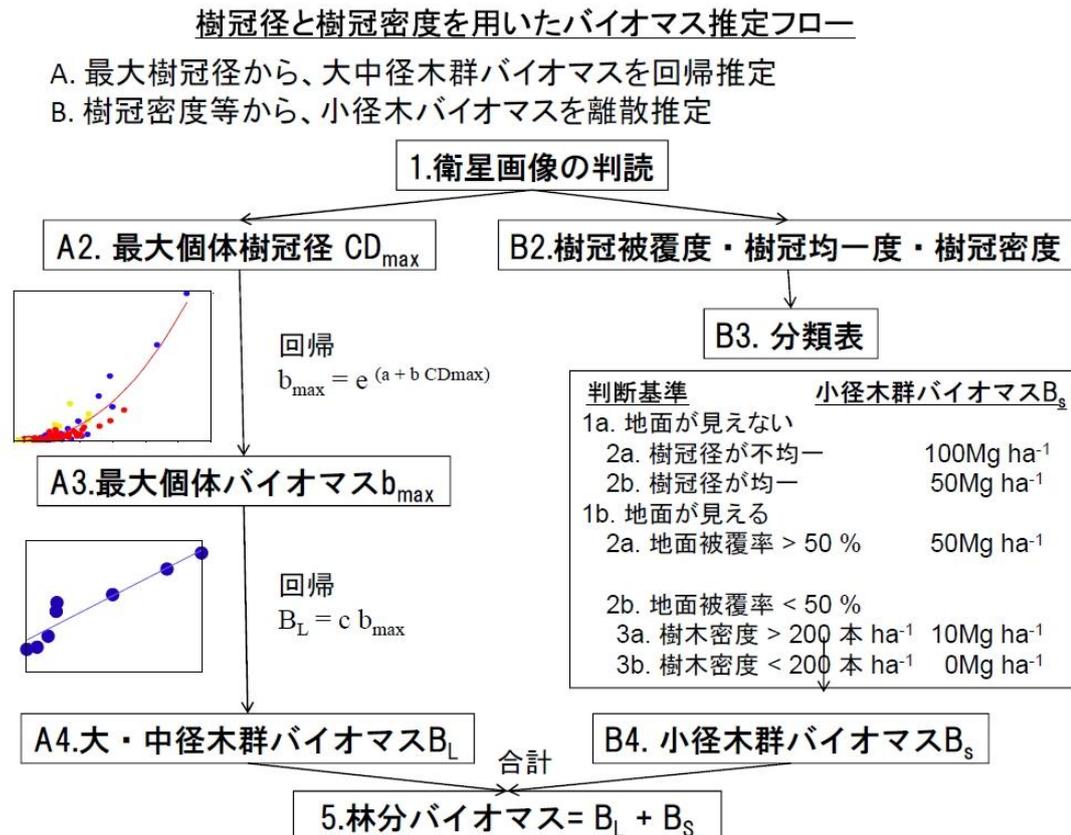


図1-9 樹冠径と樹冠密度を用いた林分バイオマス推定フロー

b 違法伐採による持ち出し量の推定への応用

i 高分解能衛星データの2時期比較による違法伐採検知

カンボジア平地林において、高分解能衛星データ（ALOS/PRISM分解能2.5m）の2時期比較による違法伐採検知を行った（図1-10）。地上での検証結果から胸高直径80cm以上の林冠突出木が収斂的に伐採されていた（図1-11）。これら伐採木の樹冠径は15m以上となり、このサイズであれば2.5m分解能のPRISM画像からも直接的に樹冠の消失およびギャップの出現によって単木的に伐採を検知することが可能である。斜め観測の場合には樹木の倒れこみの影響が無視できないがPRISMは直下観測を実施しているため、この点で優位性を持つ。過検出はほとんどなく、検出ミスが多くが伐採時に巻き込まれた支障木や小径の枯死木の非検知であった。また、PRISM画像上で測定した樹冠径と地上測定の胸高直径の間には相関が見られた。

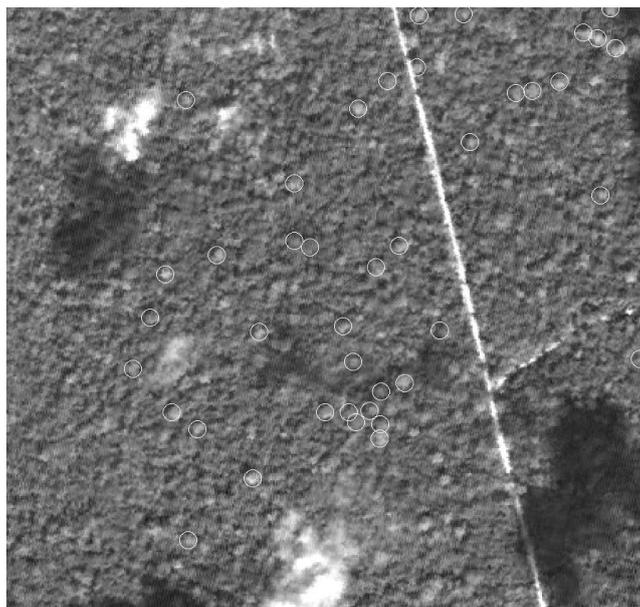


図1-10 モニタリング期間（1年半）に伐採された検知木（図の範囲は約1キロ四方）



図1-11 地上での検知木の検証。経済的価値のある大きな木から単木的に伐採されていた。

ii 違法伐採と残存木成長の比較による違法伐採インパクトの評定

カンボジアのテストサイト付近で認められた組織的な違法伐採は極めて収奪的であった。このような違法伐採がもたらす林分のバイオマス減少を、カンボジア常緑林11プロットの毎木調査結果を用いて定量的に推定した。カンボジア中央部（コンポントム州）のテストサイトでは胸高直径60cm以上の樹木個体が違法伐採の対象となっていた。毎木調査より胸高直径5cm以上の材積を集計し、違法伐採対象である胸高直径60cm以上の大径木個体の材積が林分材積に占める割合を計算した。またカンボジアFCMCPプロジェクト報告書⁹⁾を参照して中小径木個体の材積増加量を推定した。大径木材積損失量を中小径木材積増加量で除し、違法伐採によるバイオマスの損失が残存する中小径木の材積増加によって補われるまでに必要な年数を推定した。

違法伐採対象である胸高直径60cm以上の大径木個体の材積が林分材積に占める割合はカンボジア常緑林11プロットの平均（±SD）で 0.58 ± 0.24 であった。大径木違法伐採が炭素量蓄積に及ぼ

す影響は極めて大きく、違法伐採による森林劣化はREDDスキームにおいて中～小蓄積林分の森林減少と同等かそれ以上に重要であることが示唆される。

中小径木個体のプロットあたりの材積増加量は $0.49 \pm 0.32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であった。大径木材積量を中小径木材積増加量で割った値は $153 \pm 131 \text{ year}$ となる。大径木の伐採によって中小径木の成長が促進される可能性はあるが、その増加分を加味したとしても、大径木伐採による炭素蓄積減少が残存木の材積増加で埋め合わせられるまでには数十年のオーダーが必要と考えられる。

iii 違法伐採持ち出し量の推定に資する胸高直径推定アロメトリ式の開発

高分解能衛星データを用いた違法伐採持ち出し量の推定においては、現地検証による推定精度の定量化が必要である。樹木個体のバイオマス推定において最も簡便で普遍的に用いられるパラメータは胸高直径であり¹⁰⁾、カンボジアにおいても胸高直径（ないしは胸高直径を変換した胸高断面積）のみを推定パラメータとして地上バイオマス^{8, 10)}や幹材積⁹⁾を推定するアロメトリ式が得られている。しかしながら、H20年度に行った現地検証調査において、カンボジア平地林で認められた大径木違法伐採では樹木個体は地上30cmから2m以上まで様々な高さで伐採されており、胸高（地上1.3m）の高さを留め、胸高直径を直接測定可能な伐根は伐根全体の6割程度であった。伐採高が変動する理由は、主要伐採対象樹種のフタバガキ科 *Dipterocarpus costatus* が樹脂採取のために幹を傷つけられていること、板根が発達していること、コミュニティ単位と想定される違法伐採グループにより伐採手法が異なることなどが挙げられ、ランダムな変動とは考えにくかった。違法伐採持ち出し量のより精密な推定のためには、残存する様々な高さの伐採根より胸高直径を推定するアロメトリ式が必要である。既往の推定式はカンボジア平地林には適用できなかった。当該地に適用可能なアロメトリ式を作成するため、カンボジア・コンポントム州の平地常緑林において、胸高直径が30cmから140cmの樹木個体75本の直径を30、60、90、120、130、150 cmの各地上高において計測した。得られたデータセットをHöjerの幹細り式¹¹⁾を基にした、直径と測定高の自然体数の関係式（式3）に代入してパラメータを推定した。

$$D = c_0 + c_1 \ln(H + 1.0) \quad (\text{式3})$$

ただし、Dは直径(cm)、Hは高さ(m)。

開発したアロメトリ式の精度評価は、胸高直径の推定誤差が生み出す全木バイオマス推定誤差によって行った。また、他の東南アジアの森林におけるアロメトリ式の適用可能性を評価するため、既往の文献から得たカンボジア・コクコン州 (n=8)⁸⁾、インドネシア・東カリマンタン (n=19)¹²⁾、マレーシア・パソー (n=7)¹³⁾のデータセットを用いて検証した。

ロジスティック回帰曲線（式3）は実際の伐根における直径と高さの関係とよく適合した ($0.87 < R^2 < 1.00$)。式3において幹のカーブの緩急を示すパラメータ c_1 は各々の個体に対して直径D、測定高H、およびそれらの積を入力変数に用いた以下の式（式4）で精度良く推定できた ($p < 0.0001$ 、 $R^2 = 0.93$)。

$$\ln [|c_1|] = 1.68 + 0.0146 D - 0.82 H + 0.0068 DH \quad (\text{式4})$$

残存伐根の胸高直径は測定したDとHを式4に代入して c_1 を求めた後、式3を変形した以下の式5で推定できる。

$$DBH = D - c_1 \ln(H + 1.0) + c_1 \ln(1.3 + 1.0). \quad (\text{式5})$$

胸高直径の推定精度を評定するため、フタバガキ科伐採対象樹種 (*Dipterocarpus costatus*, *Anisoptera costata*) の全木バイオマス推定における誤差を計算した。全木バイオマスは以下の式を用いて計算した。

$$B [\text{Mg}] = V [\text{m}^3] \times \rho [\text{Mg m}^{-3}] \times \text{BEF} [\text{dimensionless}] \times (\text{R/S ratio} + 1) [\text{dimensionless}]$$

(式6)

ただしBは全木バイオマス、Vは幹材積、 ρ は材密度、BEFは材積を地上部バイオマスに変換するバイオマス拡張係数、R/S ratio (R/S比)は地上部バイオマスと地下部バイオマスの比である。ここでは、幹材積の推定にカンボジアの常緑フタバガキ(胸高直径15cm以上)に対する推定式⁹⁾ $V = -0.0971 + 9.503 \text{ DBH}^2$ 、材密度に0.57⁸⁾、BEFに1.92¹⁴⁾、R/S比に0.12¹⁴⁾を用いた。バイオマス推定値における推定誤差は0-5%の範囲に収まった(表1-4)。比較的幹が通直な伐採対象樹種ほど推定精度は高く、また代入する直径データの測定高が高いほど高精度の推定結果が得られることが示され、違法伐採に際するバイオマス推定について実用的な手法と指針を提供することができた。

表1-4 フタバガキ科樹木における全木バイオマスおよび胸高直径の推定精度

直径計測 高 cm	胸高直径推定値を用いて計算した全木バイオマス / 胸高直径実測値を用いて計算した全木バイオマス				胸高直径推定値-胸高直径実測値(cm)	
	mean	SD	range	n	mean	SD
30	1.04	0.16	0.77-1.72	47	-1.22	6.76
60	1.02	0.07	0.90-1.30	62	-0.40	3.08
90	1.01	0.04	0.95-1.23	65	-0.42	1.9
120	1	0.01	0.96-1.04	65	-0.03	0.49

3) 群落齢を用いる方法

a 焼畑休閑林の炭素蓄積量予測

北部ラオスは焼畑農業が盛んな地域である。近年、休閑期間の短縮とゴム林転換が進んでおり、住民の生活資源や環境に及ぼす影響が問題になっている。群落齢と休閑林の炭素蓄積量(地上部、地下部バイオマス、枯死有機物)との間には一定の関係があり(図 1-12)、標高や休閑地を放牧に利用するかどうかといった管理も影響を及ぼす。休閑5年以下のシステムでは炭素蓄積量をはじめ、林産物資源、生物多様性、焼畑の陸稲収量といったさまざまな生態系機能が低下する²⁾。

焼畑休閑林の炭素蓄積量予測モデル¹⁵⁾の予測結果は、低地では検証値とほぼ対応していた。ただし、モデルの適用範囲(0.5~20.5年)を超えると誤差が大きくなった(図 1-12)。また、山地の予測値は適用範囲内でも過大であった。このため、現在のモデルを使用して比較的高い精度の推定が期待できるのは、低地の休閑20年以下の休閑林を対象とする場合である。山地での予測の外れは放牧影響の過小評価が原因と考えられ、今後改善が必要である。

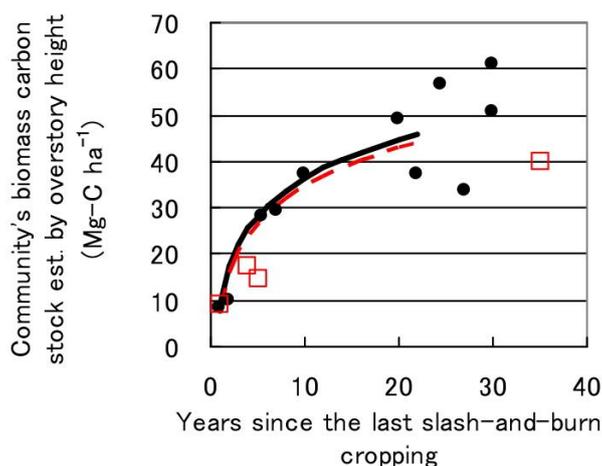


図 1-12 北部ラオスの焼畑休閑林の休閑年数と炭素蓄積量

バイオマスと枯死有機物の合計。●：低地、□：山地。実線は低地・放牧なし、破線は山地・放牧ありのときの予測値（清野ら 2008¹⁵⁾ より作成）

b 焼畑農地からゴム林への転換が炭素蓄積に及ぼす影響の試算

ゴム林のバイオマスは初期には小さいが、7年生頃から休閑林のバイオマスを超え、15年生では $68.7 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ に達する（図1-13）と考えられる。伐採までの年数はゴム林では通常25年程度であり、焼畑休閑期間は長くて10数年、近年は5年未満も増えている。地ごしらえによる土壤有機炭素の損失を考慮しても、安定したゴム林経営により焼畑経営よりも多量の炭素を生態系に蓄積できる可能性がある。ただし、ゴムは北部ラオスでは歴史が浅く、品種選択の当否はまだ明らかでない。市場開拓やゴム林転換により損なわれる森林機能への配慮など課題は多く、ゴム林の評価は今後経過観察しながら行っていく必要がある。

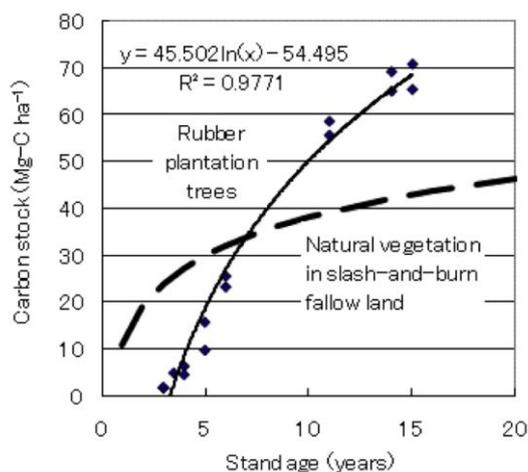


図1-13 北部ラオスにおける群落齢とゴム林木（バイオマス）、焼畑休閑林の自然植生の炭素蓄積量（バイオマスと枯死有機物合計）¹⁵⁾ との関係

c リモートセンシングを用いた群落齢を用いた焼畑耕作地における炭素蓄積量の推定

焼畑移動耕作は利用域の拡大や休閑サイクルの短縮によって地域における炭素蓄積の変化を引

き起こす。本研究では、1. 衛星画像からの焼畑耕作地の抽出、2. 地上での村落における土地利用ゾーンの特定、3. 地上測定に基づいた休閑林のバイオマス成長のモデル化、を組み合わせることで焼畑移動耕作における炭素蓄積量の推定手法を検討した。推定のフローを示す（図1-14）。

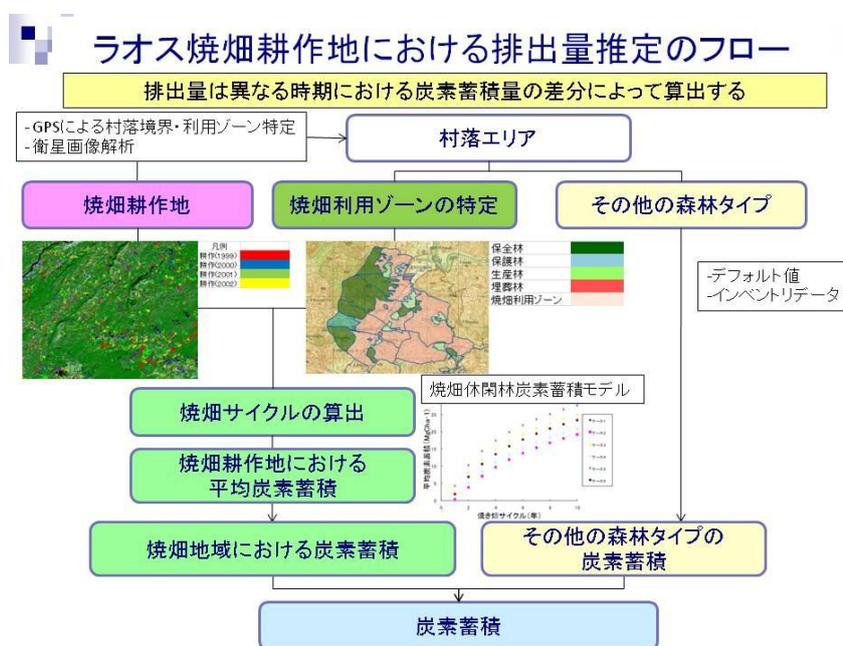


図1-14 ラオス焼畑移動耕作における炭素蓄積量の推定フロー

地上で焼畑利用ゾーンを特定し、焼畑耕作地をリモートセンシングで広域に把握することで、それぞれの箇所における焼畑サイクルを算出することができる。さらに、先に挙げた焼畑休閑林における炭素蓄積モデルを利用すれば、焼畑サイクルから焼畑休閑林における平均炭素蓄積を推定することができる。これに利用面積をかけることで焼畑利用域における炭素蓄積量を求めることができる。

焼畑利用ゾーンは、小型汎用GPSを利用した簡易境界測量を実施し（70村で実施）、村落境界および保全林・生産林（共用林）等を把握した。これ以外の箇所を焼畑利用域とした。一方、当年の焼畑耕作地は中分解能衛星画像ランドサットTMおよびETM+を利用して把握した。時系列画像に領域分割（セグメンテーション）処理を行い、ラベル付けすることによって、各時期の焼畑耕作地を特定した。以上より推定された各村における休閑サイクルは図1-15の通りである。

1993年時点には村落境界等は確定されていなかったため、試算となるが、焼畑耕作地における炭素蓄積変化を算出したところ図1-16のようになった。90年代においては、休閑期間の短縮およびそれに伴う平均炭素蓄積の減少は、これまで利用強度が低かった地域で顕著に見られ、以前から利用されていた地域においては、大きな変化は見られないことが分かった。今回焼畑利用域とした範囲内でも、谷部の岩場の耕作不適地や急傾斜地など実際は焼畑耕作地として利用されていない地域が一部存在した。このため、休閑サイクルおよび平均炭素蓄積は過大推定となっていると考えられ、今後改善する必要がある。

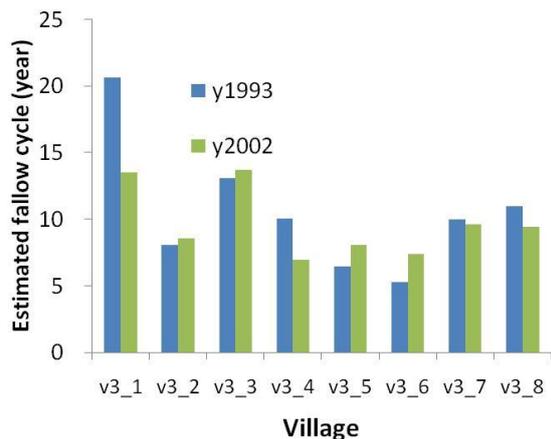


図1-15 算出された休閑サイクル（村落クラスタ3の例、v3_xは村落クラスタ3における各村の識別コード）

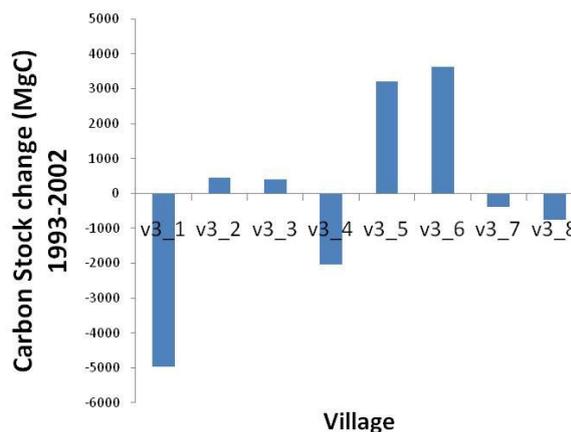


図1-16 試算した焼畑耕作地における炭素蓄積の変化（1993-2002年）
（図1-15に対応する箇所を示す）

（4）手法の特徴と限界、実行可能性の面からの比較検討

1）手法の特徴と限界、実行可能性

図1-2の排出量の推定フローに示したように、森林の炭素蓄積量の変化は森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量を異なる時点で求め、その積の差分を取ることで推定できる。このスキームに沿って、リモートセンシングと地上観測を組み合わせることで森林をモニタリングし、森林の炭素蓄積量や森林の減少・劣化による炭素変化量を推定する個別手法の特徴と限界、実行可能性をとりまとめた（表1-5）¹⁶⁾。

土地被覆区分と森林面積のモニタリングは中解像度以上のセンサを用いて実施可能である。特に土がむき出しになった土地の検出は比較的容易で、新たに農地転換した土地や焼畑農地がそうした例にあたる。また、木材伐採が行われている森林は伐採道路などの人工物を目印に検出可能¹⁷⁾で、燃材採取も焼畑や集落のそばで行われる場合は焼畑や集落を目印に活動範囲を特定できる。ただし、光学センサは雲が多いと利用できない。

単位面積当たりの炭素蓄積量のモニタリングは、森林タイプや森林減少原因によって適切な手法が異なる。先述の通り、成長量-損失量法と蓄積変化法があり、前者は違法伐採などによる森林劣化では伐採量の把握が難しく、実行性に難がある。後者は炭素蓄積量の変化を吸排出と捉えるもので、SARの後方散乱係数、群落高、樹冠径、群落齢などのパラメータが炭素蓄積量の推定に利用できる。また、モニタリング目的で設置された固定調査プロットのデータも利用できる。本研究課題では固定調査プロット、樹冠径、群落齢を用いる3つのアプローチを取り上げた。

固定調査プロットを用いるアプローチは様々な森林タイプおよび森林減少・劣化形態に適用可能な汎用的手法である。系統的に設置された多数の固定調査プロットを利用することで精度の高い森林減少・劣化のモニタリングが可能となる。農地転換や択伐といった全ての事象に対して、他の手法よりも幅広く適応できる。しかし、設置が系統的でない場合は、プロットの代表性に難が出る。また、プロットの設置の仕方によっては、シークレット性に難が出る。しかし、プロットの設置やモニタリングのアクセスの経費が高価になる場合は、広域を対象とすることが難しくなる。適切な簡素化手法の開発と訓練された住民のモニタリングへの参加は、この手法によるモニタリング精度の向上とコストの削減を可能にするであろう。

樹冠径のアプローチは、抜き伐りによるバイオマス減少量を推定できる可能性がある。航空機や高解像度衛星センサの利用が必須で、コストがかさむ。また、光学センサなので、雲の影響を受ける。この方法は対象とする森林の状態によって成績が異なる。個々の樹冠を判別しやすい大径木林や疎林が対象として適しており、Gnau (2008)¹⁸⁾はラオスの竹林や若い(15、25年生)二次林ではこの方法の適用は難しいとしている。したがって、この方法は焼畑休閑林には向かない。林冠下で行われる燃材採取などによるバイオマス減少もこの方法では検出できない。

焼畑群落齢を用いるアプローチは、焼畑や人工林造成など、群落の成立初期に裸地化する時期を持つ土地利用システムで有効である。中分解能以上のセンサを用いて裸地の発生時期と場所をモニタリングすることにより、群落齢と群落の炭素蓄積量の関係式を利用して炭素蓄積量変化を推定できる。この方法を適用する土地は、利用が住民によってコントロールされているので変化の予測性が比較的高く、地上データ取得のためのアクセスも比較的良好。しかし、年1回以上のモニタリング頻度が必要で、リモートセンシングによる裸地検出の失敗は炭素推定の精度を下げる。光学センサは雲が多いと利用できない。手法の実施コストは中程度である。

以上を要約するに、中解像度以上のセンサによるリモートセンシングと、サンプリングによる地上計測を組み合わせた方法が最も実行可能性が高いと考えられる。しかし、コストが高いため、その適用にはコストの問題を解決する必要があることが分かる。このようなことから、技術的視点からみたREDDの実行可能性は、森林減少・劣化の原因とコストとをふまえた手法選択によるところが大きく、対象地域で入手可能なデータを活用した手法選択が重要である。また、光学センサでは雲のない画像が必要であるが、後述する4.(4)2)の通り、東南アジアでは地域や季節によって雲のない画像の取得性が大きく異なるので、雲が多い地域については光学センサに頼らない手法を選択する必要がある。

表1-5 排出量評価手法と適用可能性

目的変数	アプローチ	要件	コスト	広域データ取得	技術的問題点	排出量評価手法とその適用可能性				住民参加による評価精度向上の期待	
						農地転換	焼畑継続	択伐	燃材採取		
森林面積	土地被覆分類	中解像度以上のセンサ	中	易	・雲があると適用できない	可能	可能	やや可能	やや可能	小	
		Lバンド以上のSAR	中	易	・傾斜地に適用できない	可能	可能	?	?	小	
単位面積当たりの炭素蓄積量 (GHGフラックス)	成長量損失量法	成長量・損失量	地上計測	?	難	・手法が未確立	?	?	?	?	大
	蓄積変化法	樹冠径	高解像度センサ 航空機	高	中	・雲があると適用できない ・樹冠判別の難しい森林がある	やや可能	不可能	限定的に可能	不可能	小
		群落齢	中解像度以上のセンサ	中	易	・焼畑、永年性作物地に限定	不可能	可能	不可能	不可能	小
		地上調査プロット	地上計測	高	難	・プロットの代表性、秘密性に限界がある	可能	可能	可能	可能	大

この結果はdry landの森林に適用する。

2) 熱帯地域における光学センサデータの画像取得性

高頻度観測MODISデータの2000年から2008年までの9年間の雲マスクを利用し、画像取得率を月別に集計した。インドシナ半島内陸部の乾季の取得率は高く、光学センサによるモニタリングが期待できる一方、東南アジア島嶼部の取得率の低さが裏付けられた（図1-17）。

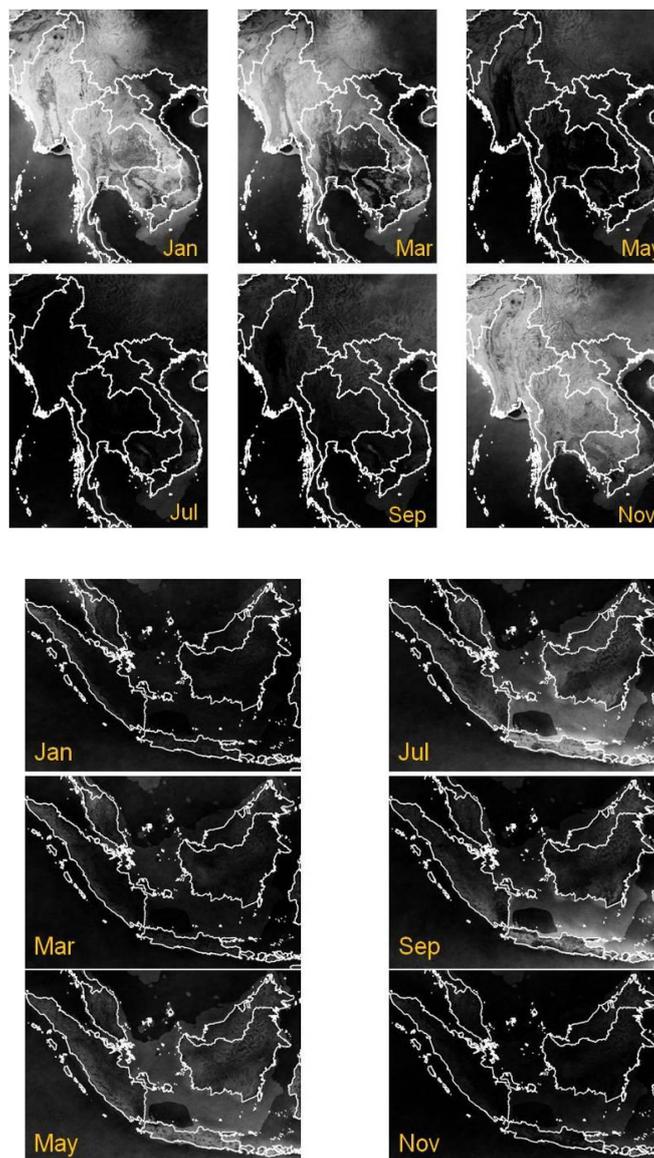


図1-17 インドシナ半島地域（上）と島嶼部（下）の画像取得可能性の季節パターン（2000-2008年の9年間の平均値。暗色で被雲率が高く、明色で取得率が高いことを示している。）

季節変化の影響を考えると乾季初期の画像の利用が望ましいが、内陸部では乾季初期画像に限っても、短い周期での定常的な観測が実施されればモニタリングの実行性は高い。同じインドシナ半島でも長い海岸線を持つベトナムでは1年を通じてデータ取得率が低い。それぞれの地域の

代表的な変化パターンは図1-18のようになった。広域解析プロダクトであるJRCのGlobal Land Cover 2000の土地被覆図を利用し、0.1度メッシュのポイントデータを発生させ森林域について国別に集計した（図1-19）。国ごとに画像の取得率が大きく異なっていることが分かる。モニタリング頻度の改善（観測衛星の増加等）により状況は変化するが、取得可能性が低い地域では、モニタリング間隔への考慮や地上インベントリデータや合成開口レーダ画像の利用など代替・補足データの利用、数値解析によらない判読スキームの構築などが必要と考えられる。別途解析した過去のランドサット画像の被雲率の解析からも、他地域の研究事例と比較しても、インドシナ半島内陸部は画像取得可能性が高い地域と言えた。ただし、この地域の乾季の終わり頃である3月も画像取得可能性は高くなっているが、野火や焼き畑の火入れなどによる煙の影響が表れている場合も多く注意が必要であった。

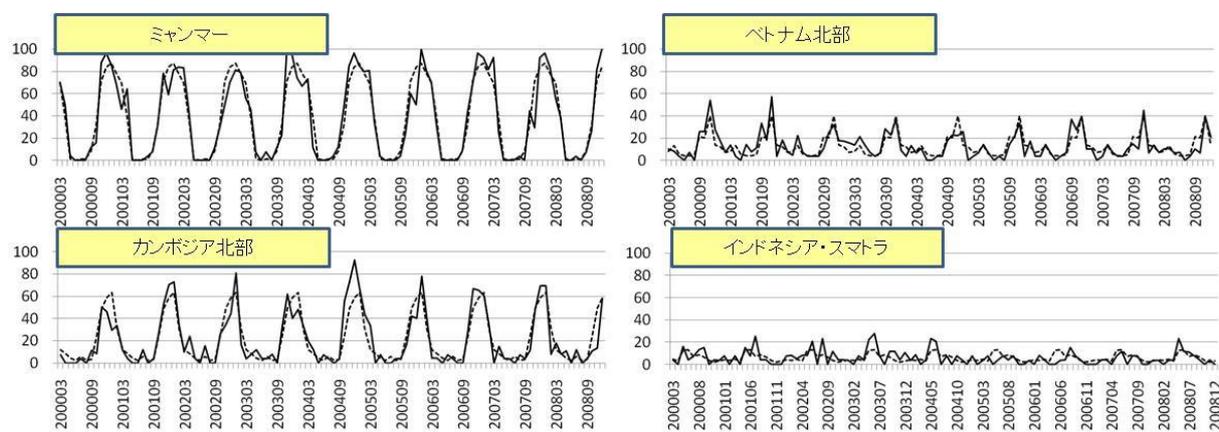


図1-18 各地域における代表的な季節・年次変化パターンの例

横軸：時間軸（9年間）、縦軸：取得率

実線：オリジナルの変化パターン、破線：9年間の平均パターン

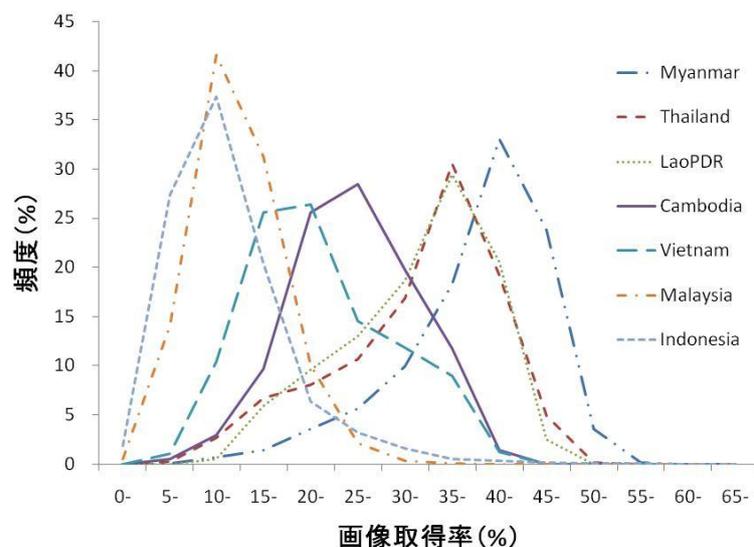


図 1-19 国別の森林域の画像取得率年平均値の頻度分布

3) 高分解能衛星画像解析におけるサンプリングの問題

高分解能衛星画像を用いた樹冠径判読による炭素量推定手法はコスト（画像購入費用、判読労力）を鑑みると、実行に際してサンプリング手法を適用することが現実的である。基本となるサンプリング手法は二段抽出法（two-stage sampling）である。この場合、第一段の抽出とは「どの画像を購入するか」、第二段の抽出とは「1画像の中からどこを判読するか」となる。それぞれの意志決定において重要となる検討事項を以下に整理する。

第一段の抽出では、まず少なくとも現時点において、撮像地域が樹冠径判読に適したサイズの樹木個体が存在する森林かどうか予察する必要がある。判読可能な樹冠サイズの閾値は衛星画像の種類に左右され、0.61-0.82m 分解能の QuickBird や Ikonos を用いる場合は樹冠径 10m 程度、2.5m 分解能の PRISM 画像では樹冠径 15m 程度である。カンボジアにおいてそのような森林の分布は偏っているため、全くランダムに画像を選ぶ無作為抽出法（Random Sampling）はコストの点から不適當である。無作為抽出法の他には 1 つおきの画像を選択する等の系統抽出法（Systematic sampling）や、森林率の大小で画像をグループ分けしてから、存在比率に応じて選択する層化抽出法（Stratified Sampling）が考えられる。適切な層化手法（グルーピング）が既に確立されているならば、同じ画像面積で得られる母集団（国全体）の推定精度は層化抽出法の方が系統抽出法よりも高い。また系統抽出法では存在比率が少ないグループを抽出できない恐れもある。

一方で、層化の基礎となる現地状況（例えば、森林率、社会構造、森林減少速度など）が時間と共に変化する可能性も考えられる。社会構造の変化によって森林減少が急速に進行しているカンボジアの現状を鑑みると、最低限の層化（森林率 0 の地域を除く、森林外の世界と水辺の灌木林地帯を除く等）を行ったのちに、系統抽出法を適用するのが現実的な選択であると思われる。

どちらの手法にせよ、サンプリング手法の決定時には画像を購入しなかった地域の炭素量推定手法についても検討する必要がある。選択肢としてはデフォルト値の適用、画像を購入した地域の値（Stock C km⁻²）を適用の 2 つが考えられる。後者に関しては、近隣地域の画像から得た値を適用、自然的社会的状況が類似の地域の画像から得た値を適用、などのオプションが考えられる。

第二段の抽出では、第一段の抽出と同様に、系統抽出法、層化抽出法が選択肢として考えられる。層化手法としては、森林率、開発程度、道路状況（違法伐採は運搬道路の整備状況と強い関連があるため）などが考えられる。両選択肢のメリットデメリットは先述の通りであるが、画像が確保されているため後に再判読することが可能であり、その意味において第一段の抽出よりは柔軟な対応が可能である。搬出道路を最大限に利用することの必然として、違法伐採は局所集中的に起こる（ホットスポット）。ある地点で対象木が切り尽くされれば、ホットスポットは当然移動する。系統抽出法では空間的にホットスポットを見逃す可能性が高く、層化抽出法ではホットスポットの時間的移動を掌握できず、適切な推定ができない可能性がある。大径木伐採の自動抽出を施して、その程度により層別を図り、新たにホットスポットとして検出された地点では遡って再判読を施す、という補助的な層化抽出を組み合わせるのは解決策としてひとつの方向性であろう。国際的な枠組みで公正と認められる検知精度を確立するためには更に検討が必要である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

リモートセンシングと地上観測を組み合わせることで森林の炭素蓄積を推定する手法をレビューし、森林減少・劣化の把握の技術的課題を明らかにした研究は非常に少なく、本課題の成果はREDDの実行可能性評価や計画策定における科学的な判断材料となる。既往の研究事例が乏しいカンボジア・ラオス両国で、違法伐採を含む大径木の択伐、焼畑の休閑年数短縮、ゴム林等農地への転換が森林減少・劣化の主要形態であることを明らかにした。また東南アジア全域における光学センサの利用可能性を示し、REDDの実行可能性が広域衛星画像の取得可能性に大きく依存することを指摘した。研究事例が少ない森林劣化評価に関して、炭素変化量推定手法およびその限界を具体的に提示した。群落齢をパラメータとする炭素蓄積量の推定手法は、焼き畑やゴム林経営など循環的な土地利用システムに適用して、炭素蓄積や資源生産など生態系機能を一元把握できる特長を持つ。衛星観測と組み合わせることで集落と里山を対象に地域生態系機能のトレンドを診断したり、森林減少回避の観点から生態系機能の改善方法を検討するツールとして有効である。

(2) 地球環境政策への貢献

UNFCCCのSBSTAにおいて議論されていた方法論に関する文書案について、本研究の成果をふまえた見解を日本政府からの意見を通して上げ、その一部がSBSTAの方法論の合意文書に反映された。また、途上国における吸収源活動（REDD）に関する情報交換会（2009年9月）では、本課題成果であるリモートセンシングと地上調査を組み合わせることで森林の炭素蓄積量モニタリング手法の適用条件を提示し、環境省や林野庁、外務省によるCOP15 REDD交渉準備に貢献した。加えて、COP13～15やSBSTA等の国際交渉において、本研究の担当者が代表団として参加し交渉への支援を行った。

このようなわが国の国際交渉への貢献に加え、森林総研REDDシンポジウム（2009年6月、東京）、UNFCCC REDDワークショップ（2008年6月、東京）、GOFCC-GOLD REDDワークショップ（2008年10月、ドイツ）、CD-REDDワークショップ（2009年2月、ブラジル）、IPCC専門家会合（2010年2月、横浜）、林野庁主催国際REDDセミナー（2010年3月）など、REDDの国際議論や交渉に関係深い国際会合において発表し、REDD制度の国際議論の進展に技術的・政策的両面から貢献した。

6. 引用文献

- 1) Kiyono Y, Ochiai Y, Chiba Y, Asai H, Saito K, Shiraiwa T, Horie T, Songnouxhai V, Navongxai V, Inoue Y (2007) Predicting chronosequential changes in carbon stocks of pachymorph bamboo communities in slash-and-burn agricultural fallow, northern Lao People's Democratic Republic. *J For Res*, 12: 371-383.
- 2) Kiyono Y, Asai H, Shiraiwa T, Inoue Y, Kham V (2008) Trade-Offs and Synergy in Slash-and-Burn Farming: A Case Study From Northern Lao People's Democratic Republic. In: Temu AB, Chamshama SAO, Kung'u J, Kaboggoza J, Chikamai B and Kiwia A (eds.) *New Perspectives in Forestry Education*. Peer reviewed papers presented at the First Global Workshop on Forestry Education, September 2007. ICRAF, Nairobi Kenya, 432-439.
- 3) IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (2006) 2006 IPCC guidelines for land use, land-use change and forestry. Technical Support Unit IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama.

- 4) Coppin P, Jonckheere I, Nackaerts K, Muys B, Lambin E (2004) Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J. Remote Sensing*, 25(9): 1565-1696.
- 5) Hayashi M, Hori S, Iehara T, Awaya Y (2007) *Journal of Forest Planning*, 2007, Monitoring the target region of the Kyoto Protocol article 3.3 with LANDSAT/TM data. *Journal of Forest Planning*, 13: 17-28.
- 6) Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Itoh E, Araki M, Matsumoto M (2010) Carbon stock estimation by forest measurement to contribute to sustainable forest management in Cambodia. *JARQ*, 44(1): 81-92.
- 7) 清野嘉之ら (2006) 平成17年度森林吸収源計測・活用体制整備強化事業調査報告書(2)CDM植林基礎データ整備. 平成18年3月 独立行政法人森林総合研究所
- 8) Hozumi K, Yoda K, Kokawa S, Kira T (1969) Production ecology of tropical rain forests in southwestern Cambodia. I. Plant biomass. *Nature and Life in South-east Asia*, 6: 1-56.
- 9) Department of Forestry and Wildlife (DFW), Forest Resources Management (FRM), Indufor Oy, Societe Generale de Surveillance (SGS) (2004) Forest systems research and modeling handbook. Forest concession management and control pilot project, The World Bank Project Credit No. 3365-KH, Forestry administration, Phnom Penh, Cambodia.
- 10) Chiba Y (1998) Architectural analysis of relationship between biomass and basal area based on pipe model theory. *Ecological Modelling*, 108: 219-225.
- 11) Höjer A (1903) Growth of Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Bilaga till. Loven, F. A. om vara barrskorar.
- 12) Yamakura T, Hagihara A, Sukardjo S, Ogawa H (1986) Tree size in a mature dipterocarp forest stand in Sebulu, East Kalimantan, Indonesia. *Southeast Asian Studies*, 23: 452-478.
- 13) Niiyama K, Kajimoto T, Matsuura Y, Yamashita T, Matsuo N, Yashiro Y, Ripin A, Kassim AR, Noor NS (2010) Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *J Trop Ecol* 26: 271-284.
- 14) Brown S (1997) *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A primer* (FAO Forestry Paper 134). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- 15) 清野嘉之、千葉幸弘、浅井英利、白岩立彦、井上吉雄 (2008) ラオス北部山岳地の焼畑休閑林の生長と乾季の日の出前の湿度. *関東森林研究*, 59: 149-152.
- 16) Kiyono Y, Saito S, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Ito E, Sato T, Takahashi T, Matsumoto M, Siregar C (2010) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ*, in press
- 17) Angelsen A, Brown S, Loisel C, Peskett L, Streck C, Zarin D (2009) Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD): An options assessment report (Prepared for the Government of Norway). Meridian Institute, <http://www.REDD-OAR.org>

- 18) Gnau J (2008) Crown differentiation in tropical secondary forests as a precondition for aerial imagery analysis for carbon stock inventories. M. Sc. Global Change Management, Faculty of Forest and Environment, University of Applied Sciences, Eberswalde, Germany, 47pp.

7. 国際共同研究等の状況

森林総合研究所はカンボジア森林局と環境省およびラオス森林局・農林研究所と共同研究の合意書をそれぞれ締結している。本課題の活動はそれらに基づくものである。研究協力機関であるカンボジア国森林野生生物開発研究所（FWDRI）およびラオス国林野局に対してはH22年3月に研究成果発表会を開催して本課題の成果を直截的に受け渡した。

森林総合研究所とカンボジア国森林局機関カンボジア森林野生生物開発研究所（FWDRI）とは、2002年からMOU、LOAなどを締結して共同研究を継続している。これまでに行われた国際共同研究計画は本課題を含む環境省地球環境研究総合推進費2課題に加え、環境省地球環境保全等試験研究費（1課題）、文部科学省新世紀重点研究創生プラン（1課題）、文部科学省科研費（4課題）があり、また政府等受託研究（科振調）国際共同研究に新規課題を応募中である。カンボジア国森林局長官H. E. Ty Sokhun(2010年4月6日付退任)、FWDRI副所長Mr. Chann Sopha他、多数のFWDRI職員の協力を得て共同研究を遂行している。現地調査、委託調査、通関上の事務手続きを含む調査機材・調査試料の送付、共同研究計画の成果発表シンポジウム等は常に相手国の協力のもとに行い、各研究の実施期間終了時には、森林管理方策および管理案を提示し、現地行政機関などに普及を図っている。さらに研究成果の多くはメコン川中下流域諸国における展開が期待されるものであるため、カンボジア国との連携を基盤に比較的条件の近い隣接国であるタイ、ベトナム等の森林研究機関とのネットワーク発展やメコン委員会との連携も視野に入れて研究推進を行っている。

国森林総合研究所とラオス森林局（DOF）、国立農林研究所（NAFRI）とは、2008年からMOUを締結して共同研究を継続している。本研究については、ラオス国森林局長官Dr. Silavanh Sawathvong、副長官Mr. Khamphay Mannivong 他、多数の職員の協力を得て共同研究を遂行した。現地調査、委託調査、通関上の事務手続きを含む調査機材・調査試料の送付、共同研究計画の成果発表シンポジウム等は常に相手国の協力のもとに行った。平成20年度と21年度にはラオス研究者を森林総合研究所に招聘し、リモートセンシングを中心とした研修を実施するなど、密接な理解と連携のもとに研究を遂行した。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Kiyono Y, Asai H, Shiraiwa T, Inoue Y, Kham V: In Temu AB, Chamshama SAO, Kung' u J, Kaboggoza J, Chikamai B and Kiwia A (eds.) : New Perspectives in Forestry Education. Peer reviewed papers presented at the First Global Workshop on Forestry Education, September 2007. ICRAF, Nairobi Kenya, 432-439 (2008) "Trade-Offs and Synergy in Slash-and-Burn Farming: A Case Study From Northern Lao People's Democratic Republic"

- 2) Ito E, Araki M, Tith B, Pol S, Trotter C, Kanzaki M, Ohta S: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 46:2867-2871 (2008) "Leaf-Shedding Phenology in Lowland Tropical Seasonal Forests of Cambodia as Estimated From NOAA Satellite Images"
- 3) Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Itoh E, Araki M, Matsumoto M: JARQ 44(1):81-92 (2010) "Carbon stock estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia"
- 4) Ito E, Furuya N, Tith B, Keth S, Ly C, Chann S, Kanzaki M, Ohnuki Y, Araki M, Niiyama K, Matsumoto M, Sato T, Awaya Y, Kiyono Y: JARQ 44(4) (in press, 2010.10) "Estimating diameter at breast height from measurements of illegally logged stumps in Cambodian lowland dry evergreen forest"

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 松本光朗：科学、78(5):536-539 (2008)「森林による二酸化炭素の吸収」
 - 2) 松本光朗：環境技術、37(6):19-25 (2008)「地球温暖化緩和への森林の役割」
 - 3) 松本光朗：公衆衛生、72(12):956-960 (2008)「地球温暖化対策としての森林管理の意義と課題」
 - 4) 松本光朗：シリーズ 21 世紀の農学 地球温暖化問題への農学の挑戦、日本農学会編、養賢堂、169-183 (2009)「森林分野の温暖化緩和策」
 - 5) 松本光朗：経済、12:137-143 (2009)「森林 CO2 吸収量算定ルールの国際交渉」
 - 6) 松本光朗：森林技術、816:17-23 (2010)「COP15 では森林はどう議論されたのか？」
- (2) 口頭発表（学会）
- 1) Furuya N et al.: Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, (2007) "Monitoring fallow vegetation recovery after shifting cultivation using high resolution satellite imagery"
 - 2) Furuya N et al.: Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, (2007) "Texture analysis of high resolution satellite imagery with different resolution and sensors for retrieving forest structure information"
 - 3) 清野嘉之：日本熱帯生態学会年次大会 (2007)「森林バイオマスを非破壊的に推定する 4 つの手法－森林減少・劣化の把握に用いるときの長短－」
 - 4) Matsumoto M: The 7th Meeting of the Asia Forest Partnership, (2007) "A feasibility study on REDD in Southeast Asia."
 - 5) Hirata Y: The side-event of "Forest Day" Sustainable Forests & Carbon Management - Challenges for Modeling, Monitoring and Accounting Forest Carbon -, (2007) "Challenges to evaluate reduced emission from deforestation and forest degradation using satellite in Southeast Asia."
 - 6) Hirata Y: The side-event of "Forest Day" Sustainable Forests & Carbon Management - Challenges for Modeling, Monitoring and Accounting Forest Carbon -, (2007) "Challenges to evaluate reduced emission from deforestation and forest degradation using satellite in Southeast Asia."
 - 7) Araki M et al.: The International Workshop on Forest Research in Cambodia January 2008,

- Phnom Penh, Cambodia, (2008) “Soil carbon storage of four forest types in Kampong Thom, Cambodia: Comparison of Cambodian and Japanese forests”
- 8) Furuya N et al. : The International Workshop on Forest Research in Cambodia January 2008, Phnom Penh, Cambodia, (2008) “Probabilities of obtaining cloud-free Landsat TM images in Cambodia and Lao PDR”
 - 9) Matsumoto M: The International Workshop on Forest Research in Cambodia January 2008, Phnom Penh, Cambodia, (2008) “A Feasibility Study on REDD “Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries”
 - 10) Ohnuki Y et al. : The International Workshop on Forest Research in Cambodia January 2008, Phnom Penh, Cambodia, (2008) “Evaluation of soil thickness in the Chinit River Basin in Kampong Thom Province, Cambodia”
 - 11) Furuya N: Japan-Asia REDD Seminar, Hayama, Japan (2008) “Application of satellite images to forest resource monitoring”
 - 12) 古家直行、清野嘉之、浅井英利、白岩達彦、井上吉雄：日本森林学会大会、(2008)「焼き畑移動耕作地域における住民による薪採取箇所の推定」
 - 13) Hirata Y: The Second GEOSS Asia-Pacific Symposium, (2008) “A feasibility study on REDD in Southeast Asia.”
 - 14) Hirata Y: Atelier de Travail REDD pour les pays COMIFAC, (2008) “Monitoring of tropical forest changes using remote sensing techniques toward REDD and sustainable forest management”
 - 15) 古家直行、栗屋善雄、清野嘉之、伊藤江利子、佐藤保、松本光朗：農林業ワークショップ in 仙台 (2008)「メコン流域における森林減少・劣化のモニタリング」
 - 16) 古家直行、伊藤江利子、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、荒木誠、平田泰雅、松本光朗：日本森林学会大会 (2009)「途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減 (REDD) への取り組み」
 - 17) 藤田直子、平田泰雅、古家直行、高橋與明：日本森林学会大会 (2009)「REDD実施のための森林モニタリングにおける方法論的検討」
 - 18) 佐藤保、小南陽亮、田内裕之：日本森林学会大会 (2009)「成熟した照葉樹林の林冠層の現存量が地上部現存量に占める割合について」
 - 19) Ito E, Furuya N, Tith B, Keth S, Chann S, Kanzaki M, Araki M, Kabeya N, Matsumoto M, Nobuhiro T, Ohnuki Y, Shimizu A, Tamai K, Sato T, Awaya Y, Kiyono Y: The 10th International Congress of Ecology (2009) “Forest tree biomass estimation from crown diameter: case study in Cambodian seasonal tropical lowland forest”
 - 20) 清野嘉之、古家直行、佐藤保、松本光朗、藤田直子、Soukanh Bounthabandid, Somchay Sanonty : 第59回日本森林学会関東支部大会 (2009) 「気候変動緩和機能から見たゴム林転換の便益」
 - 21) Ito E, Furuya N, Tith B, Keth S, Ly C, Chann S, Kanzaki M, Ohnuki Y, Araki M, Niiyama K, Matsumoto M, Sato T, Awaya Y, Kiyono Y: International Workshop on Forest Research in Cambodia (2009) “Estimating diameter at breast height from measurements of illegally logged stumps in Cambodian lowland dry evergreen forest”
 - 22) Kiyono Y: Workshop on the Project “Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR” -Forest

- Monitoring and Policies for REDD-, Vientiane, Laos (2010) "Outline of monitoring methods for REDD"
- 23) Furuya N: Workshop on the Project "Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR" -Forest Monitoring and Policies for REDD-, Vientiane, Laos (2010) " Development of the methodology for REDD in slash-and-burn area "
- 24) Bounthabandit S: Workshop on the Project "Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR" -Forest Monitoring and Policies for REDD-, Vientiane, Laos (2010) " Mapping of village boundary and land use zone using GPS "
- 25) Yasumasa H: Workshop on the Project "Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR" -Forest Monitoring and Policies for REDD-, Vientiane, Laos (2010) " Adaptation of REDD methods to the monitoring system in Lao PDR "
- 26) Kiyono Y: International Seminar on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries (REDD), Tokyo, Japan (2010) " Findings in REDD related research programs in terms of the link between remote sensing and ground measurement"
- (3) 出願特許
なし
- (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)
- 1) Workshop on the Project "Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR" -Forest Monitoring and Policies for REDD-, Vientiane, Laos (2010年3月1日)
- (5) マスコミ等への公表・報道等
- 1) NHK BSきょうの世界「“温暖化対策の切り札” バイオ燃料の光と陰」 (2007年8月21日、森林減少のメカニズムや国際情勢について15分ほど解説)
- 2) NHKニュース9 (2007年12月10日、COP13サイドイベントの発表について5分ほど紹介)
- (6) その他
REDD交渉に係る専門家会合等での口頭発表
- 1) Hirata Y: UNFCCC REDD Tokyo Workshop, Japan (2008) "Monitoring of deforestation and forest degradation using remote sensing techniques for REDD policy implementation"
- 2) Hirata Y: GOFCC-GOLD REDD Workshop, Germany (2008) "Japanese project & research activities toward REDD and SFM "
- 3) Hirata Y: COP14, ITTO side event, Poland (2008) "The present state and possibility for monitoring of forest Degradation using remote sensing"
- 4) Hirata Y: The second CD-REDD Workshop, Brazil (2009) "Japanese project & research activities toward REDD from detection of forest change to estimation of biomass change"

B-072 森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究

(2) 森林減少ベースラインの設定手法の検討

早稲田大学人間科学学術院

人間環境科学科

天野正博

日下部朝子

国際航業株式会社

船橋 学

〈研究協力者〉

早稲田大学人間科学学術院

梅宮知佐

中村奈々子(平成19～21年度)

タイ王室林野局

Teunchai Noochdumrong

Suchat Kalyawongsa

タイ・カセサート大学

Ladawan Puangchit

平成19～21年度合計予算額 41,210千円

(うち、平成21年度予算額 13,000千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 当サブテーマでは、REDDにおける炭素クレジット評価の基本要素であるレファレンス・レベルの設定方法を開発することが目的である。そこで、開発するモデルの構造を具体的に設定し、モデルから推定される減少構造を検証するため、タイ国内の3カ所に設置した研究サイトでの調査も並行して行った。森林減少と政策・社会経済状況との関係を明らかにするマクロレベルでのアプローチでは、森林、農地、未利用区分という3つの土地利用間に非常に強い相関があることを重回帰モデルで証明することができた。これから、マクロレベルでの森林減少予測モデルは、3つの区分の間での、土地利用転換を表現できればよいことを確認できた。

これとは別にレファレンス・レベルのモデル作成にあたって、森林減少に影響する要因とプロセスを調べるため、タイ北部、西部、東北部にスタディサイトを設けて、航空写真による土地利用の歴史的変遷を調べ、農法の違いが森林減少・劣化に与える影響、森林政策としての国立公園、野生生物保護区の設置が、森林減少・劣化に与える影響を、国立公園、野生生物保護区内外の森林減少・劣化トレンドを比較することにより明らかにした。区域外に分布する森林の減少傾向を比べたところ、後者の減少度合いが著しいことが解った。

以上の傾向を踏まえて計量経済学手法を使ってモデルを開発し、タイの森林減少がどのような構造によって生じるかを推定することができた。また、モデルにより3つのシナリオに基づいてタイの将来の森林減少傾向を予測することができた。加えて、植林に対する農民の動機について分析し、REDD+の下で行政や事業者が植林を推進するための方策を明らかにした。最後に、REDD+においては炭素クレジットを扱う市場メカニズムだけでなく、森林減少と大きくかかわる農民の森林保全活動、行政のモニタリング活動、ガバナンスに関連した能力向上のための資金の提供も重要であることを示した。

[キーワード] 森林減少・劣化、二酸化炭素、京都議定書、タイ、住民

1. はじめに

途上国における森林減少・劣化による温室効果ガス排出の削減(REDD)の重要性については認識されているものの、炭素クレジットをどのように算定するかについては、ほとんど明らかになっていない。サブ課題2では算定の基礎となるレファレンス・レベルの設定方法を提案することが目的である。そこで、当サブ課題では途上国が果たした森林減少回避を炭素クレジットとして評価するアカウンティング方式の確立を目指した研究を行った。

一般に京都議定書では追加的な努力について炭素クレジットを付与する形で評価するのが原則となっている。それは基準レベルや基準年との差であったり通常のBAUトレンド(ベースライン)との差であったりする。ただ、吸収源は排出源と特性が異なることから、RMU、tCER、1CERといったクレジットが付与される。これらは排出権取引市場で通常のクレジットAAUと同様に取引されているが、REDDは第2約束期間から採択されることもあって、もう少し広い視野からのアカウンティング方式が提案されている。京都議定書の吸収源分野の運用細則は、交渉において各国の意見集約が難しく、第1約束期間のみに適用するという限定付きでマラケシュ合意に至ったことから、ここでの研究内容も必要以上に第1約束期間の内容にこだわらず、幅広い視点から提案をする。とくにREDDは森林減少・劣化のみならず森林保全や炭素の吸収強化についても評価するREDD+に考え方が拡大され、COP15においても熱帯林からのGHG排出を削減するだけでなく、炭素を森林内に固定することの重要性も強調された。そこで、最終年度においては研究対象をREDDではなくREDD+に拡大し、COP15前後の議論の動向も考慮しながら検討を行った。また、サブ課題1、3及び4との連携を考慮し、レファレンス・レベルのみに研究を限定せず、研究対象国のタイの実態に即したモニタリングシステムの検討、タイの社会経済状況を考慮した効果的な森林減少防止を進める政策の検討も、他のサブテーマ担当者と連携をはかりながら研究を進めた。

2. 研究目的

1960年代から80年代にかけての急激な森林減少、90年代に入ってから様々な森林保全政策や社会経済分野の発展によって森林減少の抑制に成功したタイを対象に、過去の森林資源動態と森林減少に関連する様々な政策、経済発展等の関係を分析することにより、UNFCCCが研究者に求めているレファレンス・モデル(ベースライン)の設定方法、森林減少抑止効果の分析方法を明らかにする。また、森林減少や森林劣化を抑制する政策効果の検証及びそれらの政策が地域住民に与える社会経済的な影響について研究サイトを設定して調査した。また、アカウンティング方式の提案をする場合の基礎情報として、特定の政策努力をする場合としなかった場合のシナリオに基づいて全国レベル、地域レベルでの炭素収支をモデルによる計算で比較できるようにした。

サブテーマ3及び4との連携をはかるため、タイにおいても森林政策や社会経済状況の変化と森林減少との関係を分析した。従来、森林保全は努力や成果に対する経済的な見返りがなかったことから、各国とも森林保全にそれほど熱心でなかったが、REDD+においては炭素クレジットという形での経済的なインセンティブが与えられている。そこで、全国レベル、研究サイトレベルで獲得できる炭素クレジットによる経済的利潤が、さらなる森林保全政策や流域の社会福祉向上といったことにフィードバックするための方策をサブテーマ3及び4と協力しながら提案する。

3. 研究方法

全国レベルでのマクロデータの収集¹⁾、スタディサイトでの調査を実施するとともに、REDDで求められているレファレンス・レベル設定のためのモデル開発を行った。具体的には下記のような調査・分析を実施した。

(1) タイの森林資源動向に関するマクロ的な分析。

1) タイの森林政策・法律に関する情報を収集し、各政策や法律の発効の背景を分析するとともに、その効果を分析した。

2) タイの森林減少をマクロ的にモデル化するための情報として、タイの人口センサス、農業統計、森林統計、土地利用統計等を収集した。

3) LANDSATデータをもとに作成したタイ全国の森林分布図について、昨年度に整備したものに加え、2004年時点のものをGIS化するとともに、国立公園、野生生物保護区の境界についても、GISデータを整備した。

4) タイの森林分布を再現・予測するプロトタイプ・モデルを統計的手法、計量経済学的手法により開発した。

(2) 社会構造の変化、地域経済の変化が森林減少に与える影響をミクロ的に分析するため研究サイトを設定しフィールド調査を行った。

1) 中部タイ（カンチャナブリ県メクロン流域）での平地－山岳移行地での森林資源動態と社会経済状況の調査を実施

- ・現地を何度か訪れ土地利用パターンが異なる低地タイ族、カレン族について、土地利用調査を実施し、1950年代から現在までの時系列的な土地利用変化を航空写真によって地図化した。

また、昨年度の調査を補足するための社会経済調査も実施した。

2) 北部タイ（マエホンソン県クンサー流域）において、森林減少が現時点ではもっとも激しい山岳地域の森林資源動態と社会経済状況の調査をモン族、カレン族集落において実施した。

- ・現地に数週間単位で滞在しながら各農家の農地の拡大経過を図化した。また、山岳地における土地利用変化を引き起こす政策要因についての調査も実施した。

- ・1950年代より2000年代までの土地利用図を整備した。これにより、時系列的に森林減少の状況を把握することが可能になった。

3) 東北タイにおける人工林の拡大に関する調査を実施

ノンバランプ県ニコムノンチャンに試験地を設定し、ユーカリ人工林の拡大要因を明らかにするための社会経済調査、土地利用調査を行った。

4. 結果・考察

(1) レファレンス・モデル開発のためのデータ整備

1) 全国レベルでの森林分布の動向

全国レベルでの森林情報を扱う上で以下のような問題点があることが判明した。

- ・統計上の森林面積

タイの統計データが示している森林面積は、行政上の土地利用区分としての森林区域のうち、実際に森林が現存している面積を指す。このため、行政上は森林区域外の農地に点在する森林や

植林地は森林として計上されていない。タイ政府も区域外も含めた森林の実態を把握していないことから、ITTOのモニタリングプロジェクト²⁾データなども調べたが、全国レベルでタイの森林面積を修正するだけのデータ見つからなかった。このため、1990年以降に植栽が盛んになった農地へのユーカリやゴム植林は、今回の分析の対象とはしなかった。しかし、森林減少・劣化に関してみれば、これらの森林を除外して分析しても大きな問題は生じない。70年代以降についてLANDSATによるタイの時系列的な森林分布の変化を調べると、70年代までは東北タイで森林が減少し、それ以降は北部タイ及びミャンマー国境沿いの森林が減少していることが解った。

・森林の抽出精度

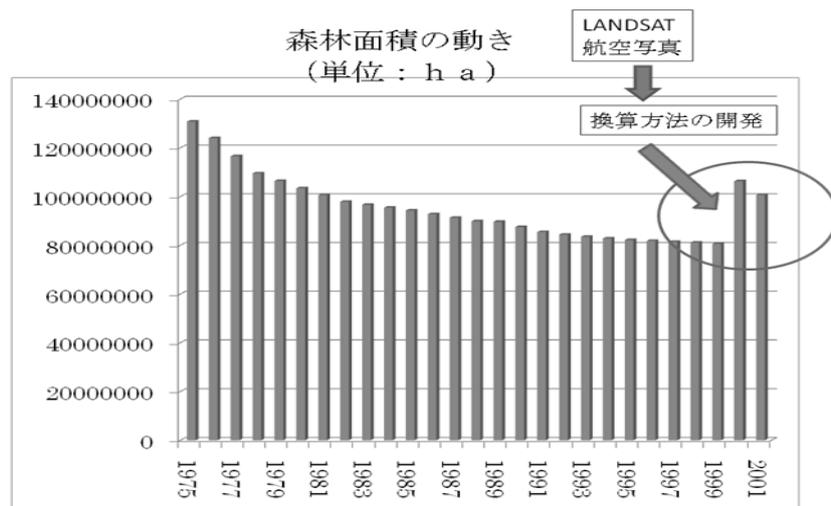


図2-1 不連続な傾向を見せるタイの森林面積統計データ

図2-1はタイの森林統計データを時系列に図示したものである。明らかに不連続な時期があるが、この理由は一般には精度を上げるため森林を抽出する際の最小面積単位を変えたことによると言われている。しかし、不整合があるとREDD+に対応したレファレンス・レベルを算定するのが難しくなるため、不連続点以降の森林の増減については反映させるが主たる動きは過去のトレンドを延長することにした。

とにした。

REDD+では森林減少及び森林劣化という2つの森林生態系の炭素減少について扱うことになっている。しかし、タイには森林劣化についての統計データは存在していない。林業公社などが森林地域内に造林する場合、そこが荒廃地か森林の劣化状態にあることを証明するデータを付けて造林の申請をタイ王室林野局に提出する。そして林野局職員が現地を視認して森林が劣化状態にあることが確認されれば、造林が許可される。これがタイでの公的な劣化した森林の認定方法であるが、職員の主観が入る上に造林の申請が出されるケースは多くないため、定量的な劣化の基準はない。生態学的には高木の本数が一定本数以下になった場合で、繰り返し火入れが行われ天然での再生が難しい状況の森林を劣化した森林と呼ぶ。フィールド調査で概観したところではアクセスや地形条件が悪いため放置されたままの劣化状態にある森林は至る所に見受けられ、森林の区分としては二次林になっているケースが多いことから、当研究では森林劣化については二次林を対象に考えることにする。二次林については全国レベルでは十分な精度でデータが用意されていないため、マクロ的な分析は森林減少を対象としたモデルの開発に止め、ケーススタディの対象地において二次林の実態を分析することにした。

2) 森林減少に係わる社会経済情報の収集

人為活動とくに経済活動が森林減少に影響を与えるという仮説の基で、1970年以降の人口、教育、県別産業別生産額といった社会経済統計を収集した。また、森林は土地利用セクター内での

競合で減少しているという前提で、土地利用統計、農業分野の県別作目別面積統計及び生産額に関する情報を整備した。さらに、農業統計とは別にタイ王室林野局との協力で全国各地に40ヶ所程度の農業土地利用に関する調査地点を設け、そこでの農地拡大や作目の時系列的な変化について農民へのアンケート調査を通して明らかにした。また、土地利用統計からタイの73県の森林減少の様子を個々に調べてみると、森林の減少パターンや減少誘因などが幾つかのグループに分かれる傾向があり、73件を複数のグループに分けてレファレンス・モデルを検討した。しかし、タイの森林政策や森林保全活動の殆どが全国レベルで展開されており地方自治体独自での活動が少ないことから、森林減少抑制に対する政策効果、活動効果を評価する上でグループ化の意味が少ないと判断した。そこで、マクロレベルでのレファレンス・レベル策定は国レベルで行うこととした。

3) 森林政策情報の収集とその歴史的な変遷を分析

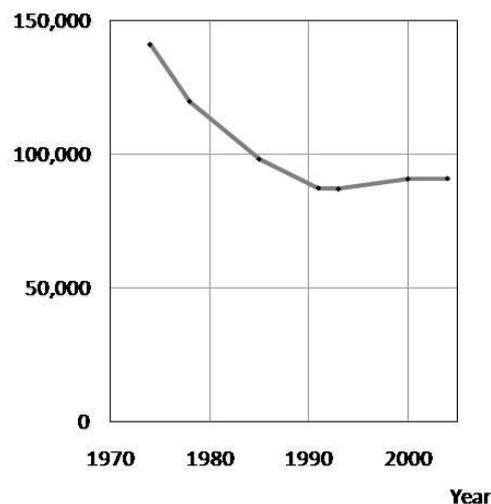
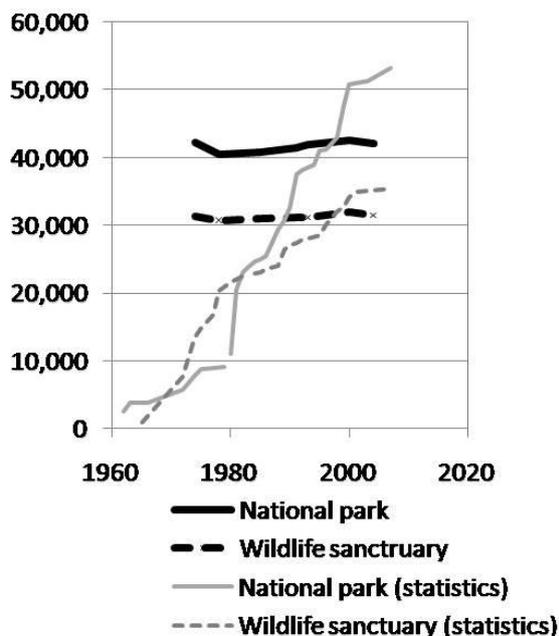
1800年代後半から現在に至るまでの政策文書の収集と分析を行った。表2-1に分析対象とした森林関連の法律の主なものを示しておく。

表2-1 タイ政府の主な森林関連の法律と対象とする分野（紙面の都合で一部を掲載）

Year	Title	Forest Production	Forest Management	Protected Forest
1874**	Royal Command on Royalty of Teak and Non-teak Log			
1884**	Royal Command on Trading of Teak Log			
1887**	Royal Command on Teak Log			
1897**	Blurred Hamper Print on Log and Lumber Act			
1901**	Ministry of Interior Regulation on Floating Log			
1913**	Forest Protection Act			
1927**	Act to Amending Internal Tariff on Section 4 (a) and (b)			
1938**	Protected and Reserved Forest Act			
1941*	Forest Act			
1961*	National Park Act			
1992*	Wildlife Preservation and Protection Act (WPPA)			
1992*	Private Forest Plantation Act			
2008	Community Forest Act (not gazetted yet)			

タイの森林政策は、林産物生産、森林経営、森林保全の3つに区分できる。政策の傾向としては、林産物生産関連の政策は1960年頃まで国有林からの木材生産に関する政策・法律が中心であったのが、近年は農民の所有している土地に植栽される森林に関するものが多くなっている。一方、森林保全に関する政策・法律は時代が新しくなるにつれ増え、タイの森林政策がチークを中心とした木材生産から森林保全にシフトしていることが解る。また、国有林中心であった政策が私有地にユーカリの造林地が増えるのに対応して、90年以降は農民の造林意欲を支援する政策に変化している。このようにタイにおいては国が事業主体となつての木材生産を重視した森林政策から、住民を参画させながら森林保全や持続可能な森林管理を実施するための森林政策に移行してきた。このことからREDD+の戦略や活動の実施はタイの森林政策と整合性の取れたものであることが解った。COP15でのREDDに関する文書³⁾でも各国の政策を遵守するREDD+戦略を導入すべきとしている。

いま、森林政策が森林減少の緩和にどのように貢献するかを、国立公園及び野生動物保護区政策を取り上げて説明する。国立公園、野生生物保護区といった保護区域内とそれ以外の土地に分けて森林減少傾向をみると、図2-2a)は太い実線が国立公園内の太い点線が保護区内の森林面積の推移を、細線が両区域の設定面積の拡大の様子を示している。図2-2b)は、両区域外の土地の森林面積推移を示しており、1990年前後までの急激な減少の後、ほぼ横ばいの推移となっている。



単位: Km²

図2-2 a 国立公園、保護区内の森林面積

図2-2 b 国立公園、保護区内の森林面積

これら2つの図から以下のことがいえる。国立公園、野生生物保護区域の両保護区域外では森林の減少が激しいのに対し、両区域内では1970年代から現在まで森林面積はほぼ横ばいである。これは、タイ全土レベルにおいては、国立公園、野生生物保護区といった保護区域指定による森林保全政策が、森林減少の抑制に効果があることを示唆している。一方、国立公園、野生生物保護区の拡大傾向を見ると、森林が残っているところを後追的に国立公園、野生生物保護区に指定していることが図2-2aから読み取れる。両地区の指定が現存する区域内の森林面積を上回ったのは1990年以降のことである。したがって、森林保全のための区域指定が森林減少の抑制に対し効果があることを過度に期待することはできない。また、森林区域外の森林は1990年以降には横這いになっている。これは保全地区指定を行う以外の森林政策の効果もあるだろうが、社会経済発展が農地の拡大を抑制するようになった可能性が高いといえる。このため、REDD+のレファレンス・レベル設定のモデルには社会経済要因を組み込む必要がある。

(2) 研究サイトでの調査結果と考察

全国レベルでは計量経済モデルで各森林政策をダミー関数とすることで政策効果を判定するが、外見上は効果が認められても疑似相関であって実際には社会経済状況の変化による森林減少率緩和の可能性もある。そこで、実際の現場において森林減少が生じているメカニズムを明らかにするとともに、計量経済モデルの推定結果を検証する情報を集める必要がある。当研究では森林減

少に大きく関わっているとみられる山岳民族の焼き畑やタイ族の移住によって、80年代から現在まで森林減少が進んでいる西部カンチャナブリ県の平坦地から山岳移行地、北部マエホンソン県において山岳民族の焼き畑による森林減少が進みつつある地域に研究サイトを設定した。また、タイにおける1960～80年代の農業発展期に農地拡大により森林減少が進み、90年代にユーカリのプランテーションが拡大された東北部に1ヶ所、2年目に追加して研究サイトを設けた。なお、REDDの議論が炭素吸収量にのみ注目し地域住民に対する配慮をともすれば見失い勝ちであることから、住民への配慮も組み入れることができるよう、研究サイトにおける地域住民や集落の社会経済状況、社会的能力の向上と森林減少との関係についても、アンケートや面談調査を通して明らかにすることを試みている。

1) 中部タイ（カンチャナブリ）

当スタディサイトは国立公園としての森林保全政策が有効に機能するか否かを調査するために設けた。航空写真を用いて土地利用を地図化（図2-3）した結果、1954年から1994年の間、高中密度林を中心に森林が大幅に減少し、特に1981年に設定された国立公園境界（濃い実線）外側では、1990年にはほぼすべての土地が農地（薄い色）に転換されていることが確認できた。スタディサイトに位置する集落での聞き取り調査から、農地転換は国立公園が設定され

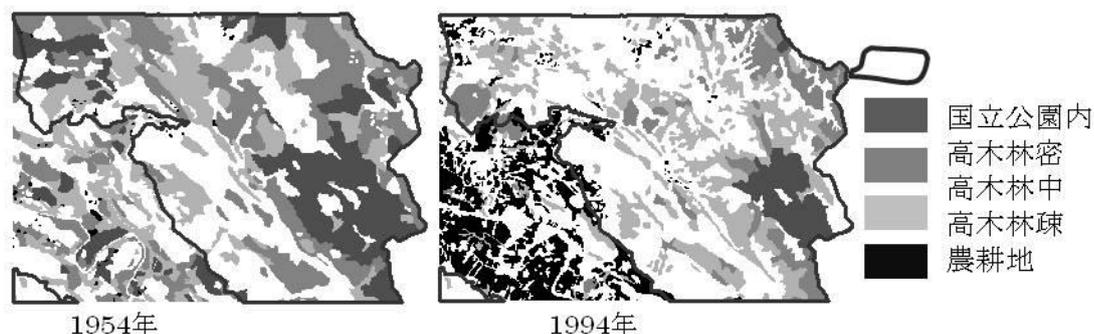


図2-3 1954年及び1994年時の土地利用図（タイ西部カンチャナブリ）

た後の1980年代後半まで続いたものの、境界の設定にはある程度住民の当時の農地状況が考慮されたとのことである。現在住民が、国立公園境界の存在を意識し国立公園内への農地拡大が認められないことを十分に認識していることは、国立公園設定以前の住民の土地利用パターンと現在の土地利用パターンとの比較からも明らかであった。また、時系列的に国立公園内外の森林の動きを図2-4で見ると、二次林以外の森林の減少度合いは国立公園外の方が急激である。ただ、両者とも1980年代後半からは森林の面積は安定して推移している。一方、二次林についてみると公園外は90年代に入っても減少傾向にあり、二次林が農地などに土地利用転換されていることが解る。聞き取り調査ではゴム林、アブラヤシ林、バナナ園などに転換されていた。一方、公園内では二次林は増加傾向にあり、森林が劣化して二次林になるものの他の土地利用に転換されることはない。これは、国立公園としての規制が森林劣化には有効に働いてないものの、森林減少防止には有効に働いていることを示している。

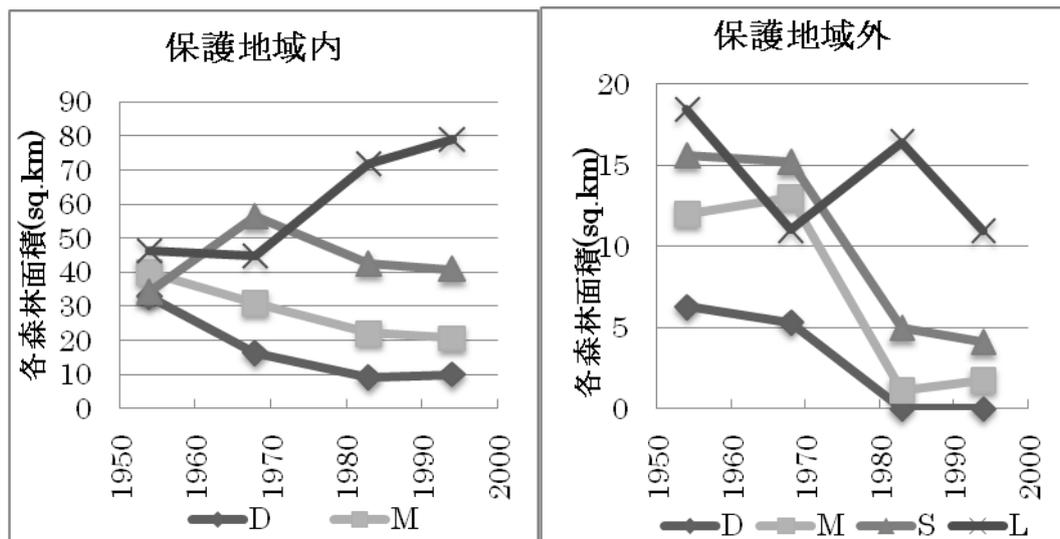


図2-4 メクロン流域での森林面積の推移 (D:高密度森林、M:中密度森林、S:疎林、L:二次林)

森林減少・劣化は人為活動に大きな影響を受けていることから、人のアクセスのし易さを集落及び道路からの距離で表すことにし、集落の境界および道路から1000m毎のゾーンを設置しそこの森林率を算出し相関を調べたところ(表2-2)、殆どの年代で高い相関があった。この地域では大規模な焼き畑が奥地で営まれることはなく、森林減少の多くが商業伐採を契機として開設された道路に沿って焼き畑が実施されたためと推定できる。

年	道路	集落
1954	0.85	0.85
1968	0.68	0.74
1983	0.73	0.38
1994	0.87	0.93
2003	0.93	0.99

表2-2 メクロン流域における道・集落からの距離と森林率の相関

2) 北部タイ (マエホンソン)

近年も森林減少が継続して生じている北部タイにおいて、農法の違いが森林減少にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、マエホンソン県クンサー流域に設置したスタディサイトである。谷筋での水田を中心に農業を展開するカレン族と、尾根から山腹に掛けての標高の高い場所での換金作物を中心とするモン族では、農業形態、生活様式の違いから時系列でみた土地利用パターンが異なる。図2-5で濃い色は森林が多く、薄い色は森林が劣化したか農地化したことを表している。図2-6に示すようにカレン族の農地面積が、換金作物や果樹が大きな割合を占めるモン族の農地面積よりも小さいことが解る。これはカレン族の水田主体の農法が、モン族ほど広い農地を要しないことを示唆する。集落での聞き取り調査から、カレン族の村民が長期にわたり1、

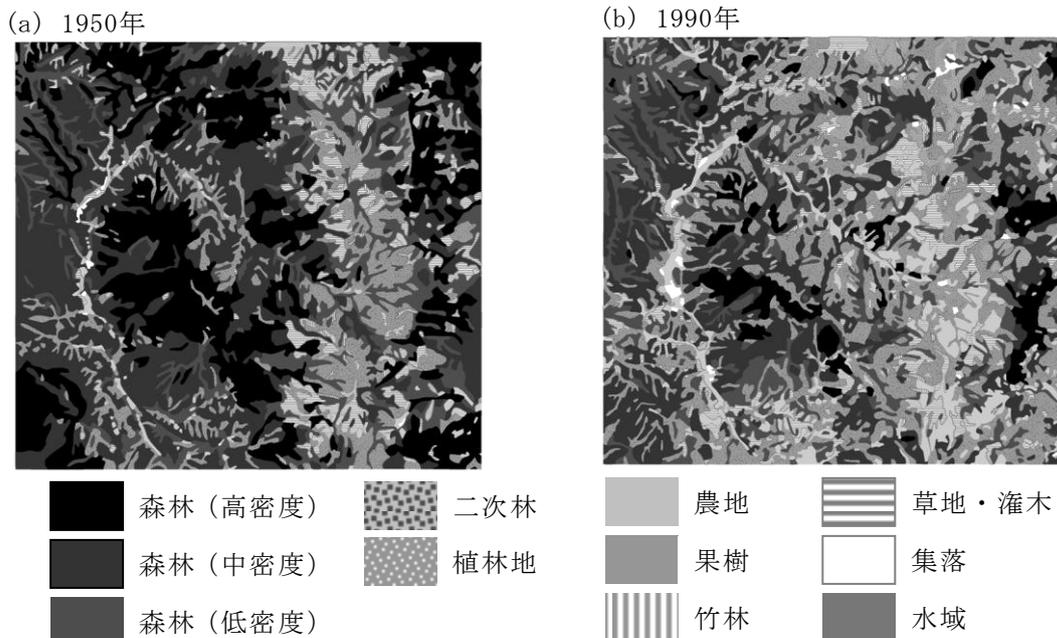


図2-5 マエホンソン県クンサー地方の土地利用の時系列変化

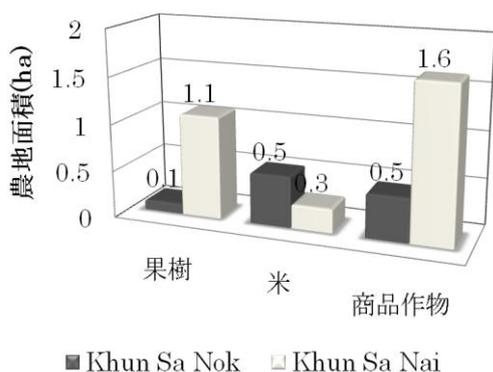


図 2-6 カレン族とモン族の集落における作物別農地面積（タイ北部マエホンソン）

に大きく影響を与えていることが確認できた。この地域でのタイプ別森林面積の変化を中心に土地利用の変遷を見たのが、図2-7である。1990年代までは森林減少・劣化が進んでいたが、90年代から2000年代にかけて森林回復や森林化が急増している。この地域は1996年よりモン族の活動域を中心に野生動物保護区に指定され、区域内での焼き畑が止まったことが原因と思われる。また、森林に係わる土地利用では必ずしも森林が減少するだけではなく、一方で農地、裸地から森林に戻っている場所もある。少し図が複雑で解りづらいが、次ページの図2-8に森林の回復状況を示す。

2片の農地を所有しているのに対し、モン族は4、5片、あるいはそれ以上の農地を広い範囲に渡って展開していたことが分かった。後者は過去にアヘンを栽培していた経緯があり、アヘンの栽培は肥沃度の高い土地を栽培時毎に必要とすることから森林伐採による農地への転換が当時はより頻繁に行われていたと考えられる。農業形態、生活様式の違いが土地利用パターン

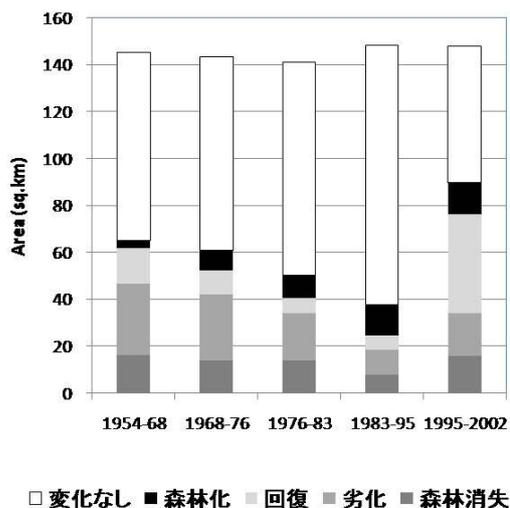


図2-7 クンサー流域森林の時系列的変化

モン族の活動域で森林の回復が盛んなことが解る。道路及び集落からの距離と森林減少の関係も調べたが、1950, 60年代はメクロン流域とは異なり道からの距離と森林率には負の相関があり、人里離れた地域で焼き畑が行われていたことを示唆した。

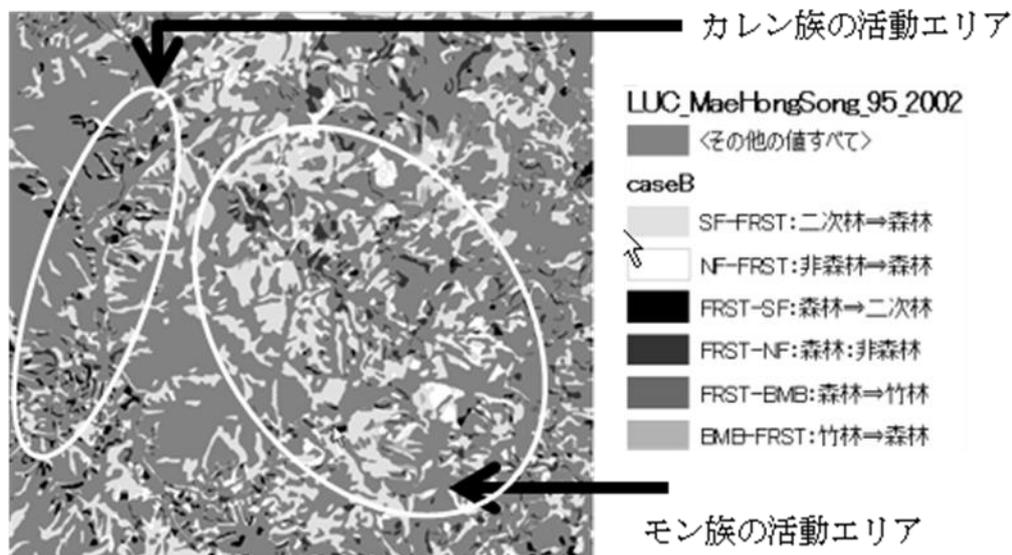


図2-8 森林化、森林再生あるいは森林減少・劣化の配置図(1995～2002年)

3) 東北タイ（ノンバランプ）

当スタディサイトでは、REDD+で導入された森林による炭素固定の強化に相当する、植林活動の推進策を探ることを目的として設置した。この地域では1990年以降、製紙工場への販売を目的に農民が所有農地にユーカリ植林を行う例が多数見られる（図2-9）。農民がユーカリ植林を実施する動機について聞き取り調査を実施したところ、第一の理由として十分な土地が挙げられた。こ

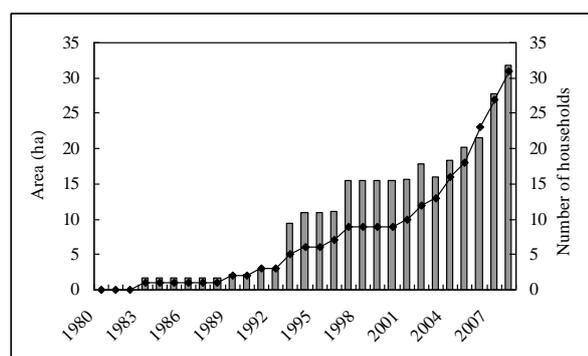


図2-9 ユーカリ植林面積・植林家数推移
(タイ東北部ノンバランプ)

これは当該スタディサイトの農民の所有する農地が、一家屋当たり約30ライ（4.8ヘクタール）と東北タイの平均保有面積19ライに比べ大きいことに裏付けられると同時に、競合する農作物が少ないことも影響している。当該スタディサイトでは、水田が主な農業形態で所有農地の大部分を占めてきた。また、当該スタディサイトでは、収入の約75%を日雇い労働や家族からの仕送りといった自分の農地から得た収入以外の収入に頼っており、収入源としての農業の重要性が、他地域に比べ低いことを示す。

また、製紙工場と農民とのユーカリ売買に関する契約状況について調べたところ、いわゆる書面による正式な契約は存在しなかった。しかし、製紙工場からは定期的に専門の職員が派遣され農民がユーカリ植林に関する様々な情報に触れる機会が提供されており、農民は正式な契約がないものの、製紙会社とのつながり、市場の見込み、近隣世帯の動向等に影響を受け植林に踏み切っていることが分かった。今後こういった動機に結びつく政策支援が施されれば、ユーカリの植

林面積が増加するものと予測できる。どのような動機で農民は植林を行うのかを調べるため、スタディサイトにおいて植林を行った31世帯の農家に植林動機についてアンケート調査を実施したところ、主成分分析の因子負荷量として表2-3のような結果が得られた。ここで第1主成分は植林動機のうち木材販売と関連した動機が集まり、第2主成分は植栽が自発的か製紙会社に促された受動的な動機かを表す軸となった。そこで、第1及び第2主成分スコアを用いて回答した農家世帯の散布図（図2-10）を作ってみる。ここで各世帯の収入の違いを示すため富裕層を●、中間層を▲、貧困層を○のマーカーで区別したところ、各階層ごとに異なる動機を持っていることが解った。富裕層は植林に対し製紙会社が働きかけると植林するという受け身的な動機であり、中間層は受け身と能動的のほぼ中間に位置する。貧困層はさらに二分化し、自発的に植栽するグループと木材の販売には関心が無く受け身的に植栽するグループがあった。この結果から植林には多様な動機が存在しているといえる。そして、木材販売に関心が無くても製紙会社からの働きかけで受け身的に植林をしている世帯が思ったより多い。こうした世帯は温暖化対策に向けた植林の有効性を訴えかければ、木材販売には関心を抱かないものの、REDD+での植林に参加する可能性が高い。このためには、植林活動に対するキャパビルも必要なことが解った。

表2-3 各主成分の因子負荷量

Motivational factors	Principal component			
	1	2	3	4
Self-consumption	-0.33	0.22	-0.35	0.39
Price is high	0.73	0.15	0.11	0.16
Price is not so high but investment is cheap	0.45	0.33	0.14	0.32
Price is high and investment is also reasonab	0.67	0.36	-0.11	0.01
Price is not so high but stable	0.76	0.24	-0.32	-0.02
Possibility for higher price in future	0.31	-0.73	0.32	0.26
The land was free	0.37	0.36	-0.23	0.40
The land has limited fertility	0.47	-0.22	0.18	-0.02
Suitable for schedule of family	0.50	-0.31	0.10	0.25
Low labour intensity	-0.07	-0.03	0.46	0.58
Technically easy	0.41	-0.27	0.40	-0.38
Good service from other bodies	0.30	0.43	0.49	-0.30
Neighbour has recommended	0.35	-0.50	-0.26	-0.26
Family has recommended	0.49	-0.46	0.01	0.06
Middleman or company has recommended	0.29	0.61	0.44	-0.27
Wanted to try	0.52	-0.06	-0.54	-0.30
For children	0.72	-0.03	-0.17	0.15
% variance	23.15	13.50	9.90	8.03
Accumulated % variance	23.15	36.65	46.55	54.58

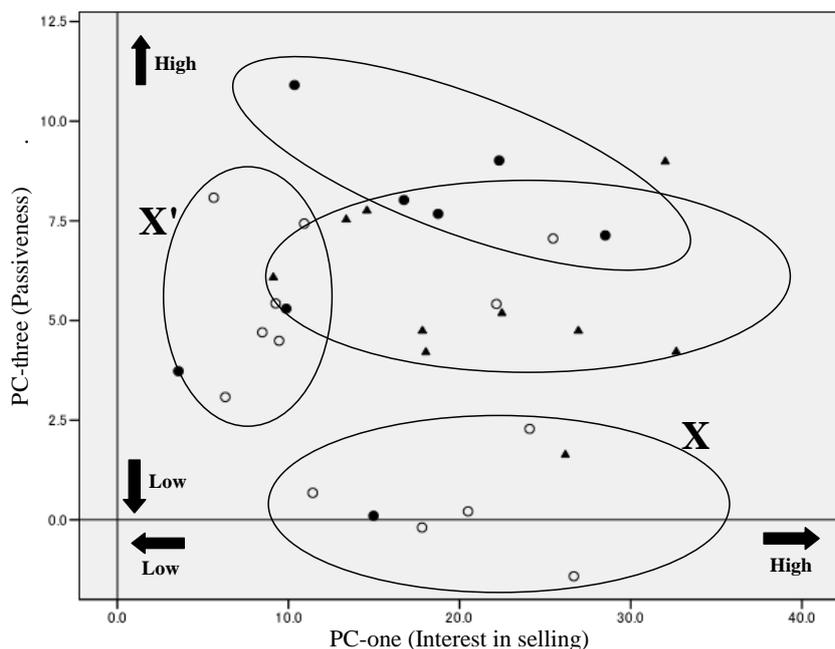


図2-10 第1主成分と第2主成分による各農家世帯の散布図

(3) レフェレンス・レベルの設定

1) 森林面積の時系列データのみを用いたレフェレンス・レベルの設定

a) ある特定年の森林減少面積をレフェレンス・レベルとする方法

必要データを最小限に抑え、かつ算定を最も単純化する方法として、ある特定年の森林減少面積をレフェレンス・レベルとして設定する方法がある。しかし、図2-11が示す通り、年当りの森林減少面積の変動は非常に大きく、どの年をレフェレンス・レベルとするかによって獲得できる炭素クレジットの量に大きな影響が出ることが分かる。

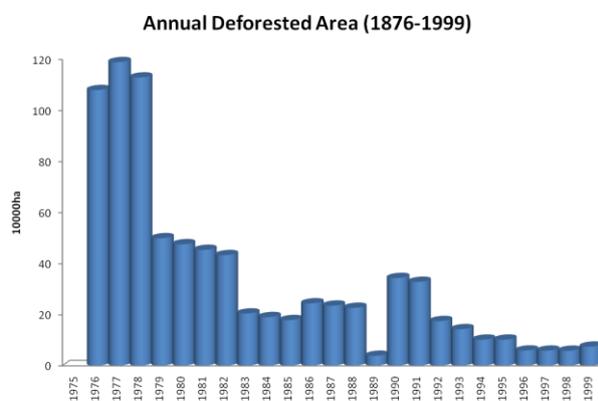


図2-11 タイの年当り森林減少面積

例えば、タイの1990年の森林減少面積は年当り約34万haで、これは1998年の森林減少面積の4倍以上である。また、こうした年間変動の影響を避け、より公平に算定する方法として、複数年の森林減少面積の平均値をレフェレンス・レベルとする方法があるが、この場合でもどの年次を何年選択するかによって発生するクレジットの量は異なる。タイの場合、1999年時点、直近過去5年間の年当り平均森林減少面積は約7万haであり、これは直近過去10年間で計算した場合の2分の1以下である。つまり、ある特定の単年あるいは複数年の森林減少面積を基準にレフェレンス・レベルを設定する場合、技術的に算定が簡易という強い利点がある一方、どの年、どの期間を基準とするかは、極めて政治的な問題と考えられる。

b) 過去の森林減少推移をレファレンス・レベルとする方法

タイの過去の中・長期にわたる森林減少傾向（図2-12）を数式にて表し、当該年の森林減少面積をレファレンス・レベルとして算定する。ここでは2次方程式を用いて表した（式1）。

$$(式1) FL = 5255236 - 5259.41 \times T + 1.316 \times T^2 \quad [調整後R^2 = 0.96、単位：10,000ヘクタール]$$

$$(8.41) \quad (-8.36) \quad (8.32)$$

FL ；森林地面積 T ；年次 括弧内数値；各係数の t 値

上述の単年、複数年を基準とするレファレンス・レベルに比べれば、過去における中・長期の傾向を踏まえるため政治的意志が介入する余地は少ない。また、リモートセンシングデータを用いれば、過去の森林面積を計測し

なおすことが可能であるため、現状では十分なデータを保有していない国にも適用可能である。一方、難点としては、ある程度の精度の森林減少傾向を再現するためには、過去の15から20時点における森林面積を把握する必要があり、全国レベルでの衛星データの解析には費用と手間がかかる。また、衛星データとともに用いられる過去の

時点のグラントゥールースデータを獲得できるかどうかは、対象国の研究蓄積如何であり、国ごとに状況は大きく異なる。過去の特定の時点のデータに基づき外挿をする場合、外挿する期間が数年であれば深刻な問題はないが、10年程度の長期に渡る場合は、社会経済状況の変化によっても森林減少傾向に影響を与えることから、その外挿結果を信頼してよいか、科学的な論拠を示せない。

2) 計量経済モデルを用いてレファレンス・レベルを設定する方法

上述した2つの方法は過去の森林減少のデータにのみ基づくため、森林減少傾向の予測にあたっては、政策効果といった森林減少に影響を与える因子の動きを考慮していない。そこで森林減少に影響を与える因子の変化を考慮したモデルを開発し、どのような因果関係で森林が減少しているのかを解明しながら、開発したモデルでレファレンス・レベルの設定を行う。

a) 土地利用区分間の面積の関係

タイでは、森林地、農地、未区分地を含む各土地利用区分の面積の時系列データが入手可能であるが、1998年以降、測定手法及び土地利用区分の定義が変更しており、データの質が1998年以前と比べ均一でない。そこで、この影響を出来る限り取り除くため、1998年以降のデータに現実的な調整を加えた後、森林地を被説明変数、農地、未区分地を説明変数として重回帰式で表した

（式2）。結果、回帰式の信頼性は非常に高く（調整後 $R^2 = 0.999$ ）、異なる土地利用区分間の面積には強い相関があることを証明できた。

$$(式2) FL = 4962.0 - 1.016 \times Farm - 0.959 \times Unclassified \quad [調整後R^2 = 0.999、単位：10,000ha]$$

$$(204.0) \quad (-45.3) \quad (-44.0)$$

FL ；森林地面積 $Farm$ ；農地面積 $Unclassified$ ；未区分地面積

Trend of Forest area (Unit: 10,000ha)

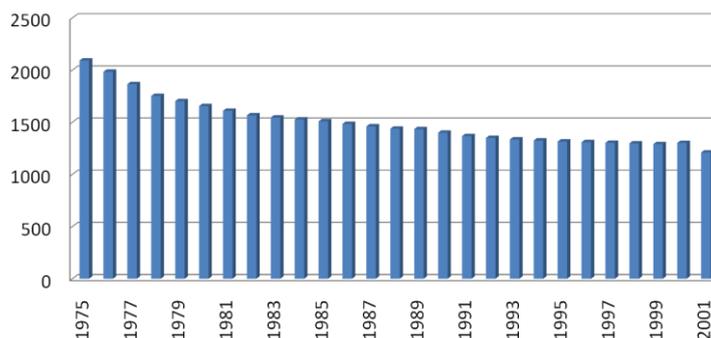


図2-12 タイの森林面積推移

括弧内数値；各係数のt値

ここで農地面積には水田面積と換金作物面積が含まれるが、図2-13が示す通り、換金作物面積は1970年代中頃から1990年にかけて急激に増加しその後の増加傾向がほぼ一定しているのに対し、水田面積は1970年代に若干の増加傾向にあるものの1980年代後半からは減少傾向にある。これは1970年代中頃以降のタイ全土の森林減少面積には、水田よりも換金作物面積の推移が大きな影響を与えていることを意味する。

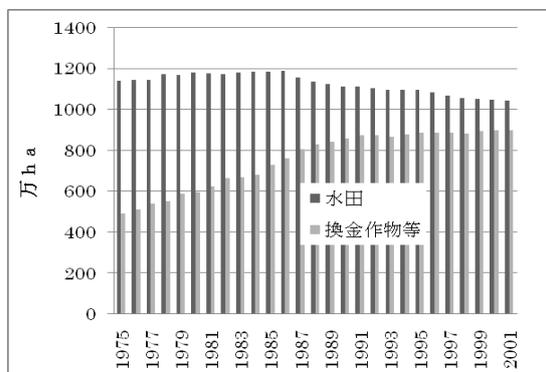


図2-13 タイの水田及び換金作物地面積

b) 森林減少の要因を踏まえたモデルによるレファレンス・レベルの試算

各土地利用区分間の面積に強い相関があることから、各土地利用区分の面積推移を、影響がある因子を使って重回帰モデルで表し、森林地の面積推移を求める。

まず、各土地利用区分の年当り面積推移の関係を、森林地を被説明係数として重回帰式で求めた(式3)。前年の森林地面積の項を方程式の左辺に移項させることで、当該年における森林地推移面積を、他の2つの土地利用区分の面積推移で表せる。

$$(式3) FL = 1769.7 + 0.652 \times FL(-1) - 1.02 \times Farm + 0.684 \times Farm(-1) - 0.99 \times Unclassified + 0.613 \times Unclassified(-1)$$

FL ; 森林地面積 $Farm$; 農地面積 $Unclassified$; 未区分地面積 (-1) ; 前年

次に多数の社会経済指標に関するデータを用意し、農地、未区分地の面積推移を被説明係数とした回帰式から、各土地区分の面積推移に特に強い影響を与えている因子をt値が大きいものから選択した。まず農地面積(水田と農作物の両方を含む)については、式4の通りであり、この式から、年当りの農地面積の推移は、人口が増えれば増大し、行政支出額、国立公園といった保護区域の面積の増大、農業生産性の向上に伴い抑制されることが読み取れる。

$$(式4) Farm = 632.9 + 0.349 \times Farm(-1) + 0.0162 \times Pop - 0.000780 \times Admi\ GDP - 0.000846 \times (NP + WS) - 28.6 \times AgriPro$$

$Farm$; 農地面積 Pop ; 人口 $Admi\ GDP$; 行政支出 NP ; 国立公園面積

WS ; 野生生物保護区面積 $AgriPro$; 農業生産性 (-1) ; 前年

他方、未区分地については式5の通りで、未区分地の年当り面積の推移は、農作物生産高が増加すれば増大し、牛頭数が増えれば抑制されると直接的には読み取れる。ただし、この読み取りは論理的な意味をなしているとは言い難いため、今後データの検討が必要である。

$$(式5) Unclassified = 930.3 + 0.431 \times Unclassified(-1) + 0.0000576 \times Crop\ Pro - 0.000013 \times Cattle\ Pop$$

$Unclassified$; 未区分地面積 $Crop\ Pro$; 農作物生産高 $Cattle\ Pop$; 牛頭数

(-1) ; 前年

そこで、式3、式4及び式5の3つの連立方程式モデルから求めた森林地面積は、図2-14示す通りである。予測結果と過去のデータの比較から、モデルの再現性が高いことを示す。また、式4及び

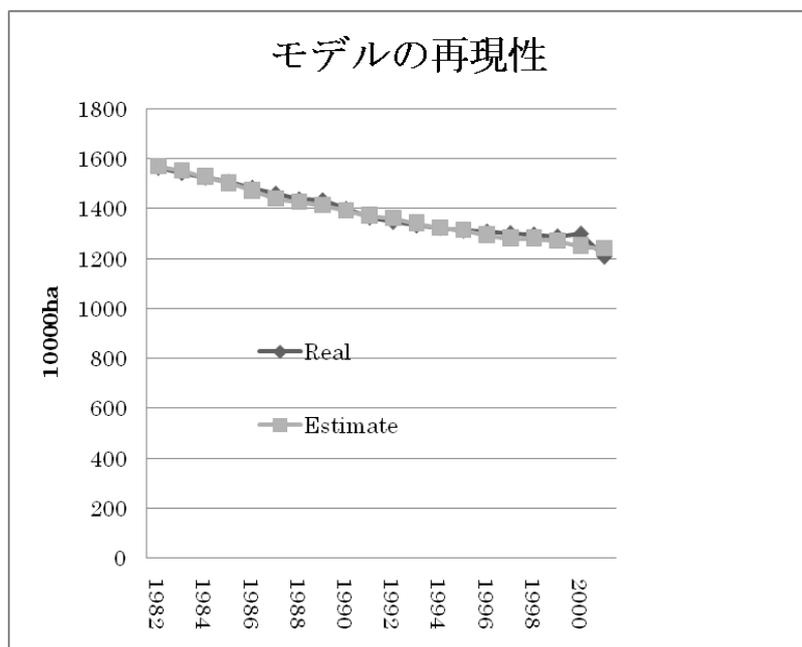


図2-14 計量経済モデルによる予測値と実際値の比較

式5に投入された社会経済的因子を調節することで、将来の森林予測を特定の社会経済状況に応じて設定できる。図2-15では、現状のままでは何ら追加的な対策を取らない現状維持の場合は実線のように推移すると予測される。それに対し補助金等の行政支出を現状より10%増加させた場合（鎖線）、及び農業生産性、行政支出を現状よりともに10%ずつ増加させた場合（長鎖線）の森林減少予測結果を示す。いずれの場合も、森林減少抑制の効果が、現状のままの推移に比べ明らかとなった。

つまり、当モデルでは、森林政策といった森林減少の緩和に影響があると考えられる要因の森林減少傾向への影響を特定することが出来る。これは、当モデルが多数の時系列データを要するという途上国にとっては厳しい難点を持ち合わせるものの、REDD下で評価の基本要素となりうる各国の追加的努力を、科学的根拠に基づき特定する場合の方法として有効であることを示す。

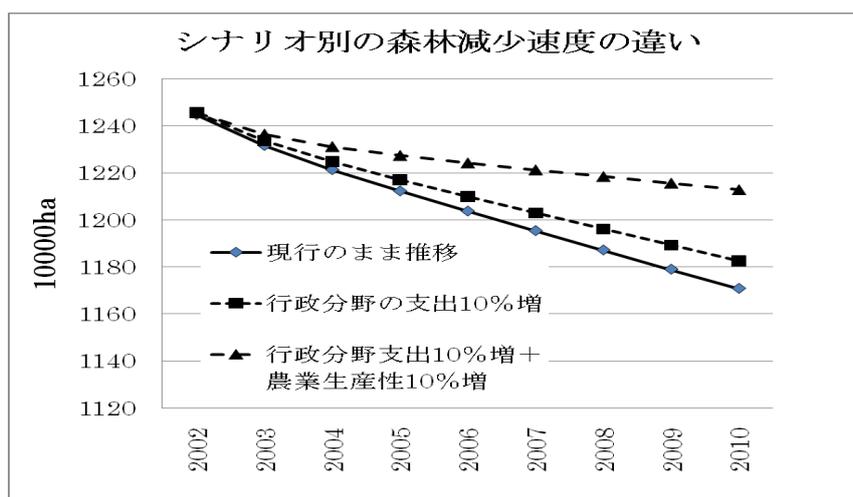


図 2-15 各種要因を踏まえた計量経済モデルによる森林面積傾向の予測結果

(4) アカウンティング方式の検討

京都議定書のこれまでの議論に基づくアカウンティング方式の基本的な概念を図2-16に示す。

アカウンティング方式にはReference level (year)とAchieved levelを比較するに当たって、森林減少による排出量だけを比較するグロス・グロス方式、2時点間の排出量と吸収量の合算値を比較するネット・ネット方式、Reference levelはグロス値、Achieved levelはネット値を比較するグロス・ネット方式の3つがあり、森林が大幅に減少しつつあるケースHではグロス・グロス方式、森林減少が概ね止まり、代わりに人工林が拡大しつつあるケースKではネット・ネット方式が有利と、国によって採用したいアカウンティング方式が異なる。

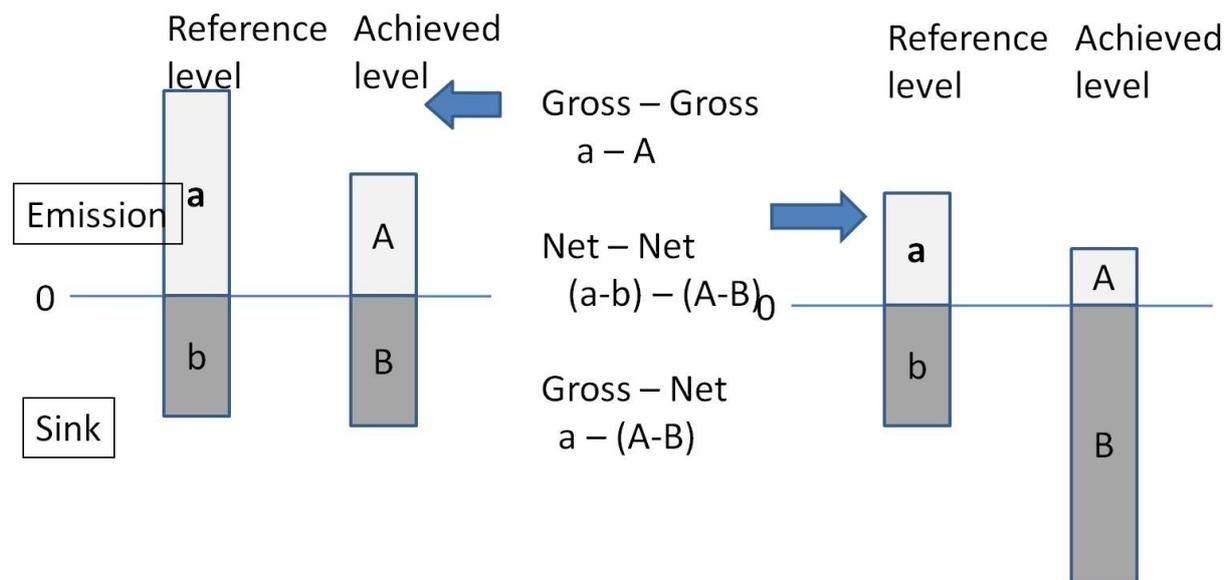


図2-16 REDDにおけるアカウンティングの基礎概念図

(5) REDDにおけるファイナンスの仕組みについて

CDMを森林分野に導入する議論をしていた当時は、ARD (Afforestation、 Reforestation、 Deforestation)の3つを途上国の森林による温暖化対策として考えており、世界銀行のBioCarbon基金もそれぞれをカバーしていた。しかし、マラケシュ合意によってCDMが植林活動に限定され、森林減少の抑制に関する活動が除外されたことから、COP11に前後してREDDが提案された。議論の中でA/R CDM実施上の制約の1つとなったリーケージを避けるため、国あるいはそれに準じた拡がりでの実施を想定するようになり、COP15の交渉段階ではプロジェクト方式も包含するような考えが出てきているが、ここではリーケージの扱いまでには踏み込まずに議論する。

アカウンティング方式については森林減少のトレンドを延長したベースラインに対し、政策によって減少を抑制した分についてクレジットとするCDMの考え方をそのままREDDにも適用しようと考えていた。このアカウンティング方式を実施するためには、2つの課題があった。一つはレファレンス・レベルとしてのベースラインを設置する手法の開発とデータ整備、もう一つは政策効果を判定するためのモニタリング手法の開発である。しかし、COP14を過ぎたあたりからREDDの枠組みを幅広く議論するようになって、REDDからREDD+に概念が拡張され実施の対象範囲も先述したように国単位からプロジェクト単位までを視野に考えるようになる。また、REDD+を広範囲に実施し、炭素クレジットを発生させるにはそれに見合ったモニタリング能力を各途上国が備える必要があり、そのための準備期間が必要であることも解ってきた。さらに、熱帯林減少には日常的な農民の活動が大きく影響していること、10億以上の人々が森林と係わって生活していることから、

実施や成果の持続性を確保するには森林地域に存在している集落や住民、さらには森林の使用権を本来は持つべき先住民も含めてREDD+を考える必要があることを、多くの国、NGOが主張するようになってきた。つまり、REDD+に参画する様々なレベルに対するキャパシティ・ビルディングが必要であるとの認識が高まってきた。また、A/R CDM実施時には多くのNGOが批判的だったが、REDD+は自然保護、生物多様性保全や先住民の社会福祉向上に貢献すると考え、REDD+の実現に向け積極的に支持に回っている。彼らを通じて市場メカニズム以外のファイナンスに関する提案がされるようになってきた。

当初は炭素クレジットの市場メカニズムを用いてREDD+を実施しようと考えていたが、NGOのこれまでの熱帯林地域での経験や、ここ数年、先進国が実施してきた熱帯林保全活動から、REDD+の実施には以下のようなことが途上国では問題であると認識されるようになった。

a REDD+を実施するための基本となる森林資源情報収集、報告体制の不備

これはモニタリング、検証、報告（MRV）を実現する能力であり、レファレンス・レベルの設定、森林保全政策を策定するための基礎情報の提供、炭素クレジットの請求などに必要となる。

b REDD+を実施するにあたっての戦略・活動プログラムを開発する能力の不備

森林減少・劣化の抑制には森林分野のみならず農業、社会経済構造の改善など総合的な施策が必要となる。ホスト国としてREDD+事業を展開するための分野横断的な企画能力の整備が行政に備わっていない。

c REDD+を実施するにあたっての活動を展開する能力の不備

REDD+を具体的に国あるいはそれに準じたレベルで実施するには、行政、企業、NGO、住民の合意を得ながら、かつ透明性を確保したプロセスで政策を実施する能力、いわゆるガバナンスが求められている。ガバナンスを確立するには十分な時間を掛ける必要がある。

d REDD+を市場メカニズムの中で実施する際の国内制度の不備

REDD+は成果主義の立場でクレジットを発生させるが、その利益は末端の住民にも到達する必要がある。このため、活動成果のアピール、成果の認定とクレジットの発行（配付）などを秩序だてて行うには、国内体制の整備が不可欠である。

e REDD+を国際枠組みのもとで実施する際の推進機関の未整備

A/R CDMはCDM理事会が管理運営しているが、同様の国際的組織を整備する必要がある。

以上のような問題の多くはREDD+を稼働させるには準備段階、とくにキャパシティ・ビルディングが市場メカニズム実施前に必要だということに帰結し、キャパシティ・ビルディングのための基金整備を準備段階で行い、体制が整った段階で市場メカニズム実施に移行する考え方である。その概要は図2-17のようになる。

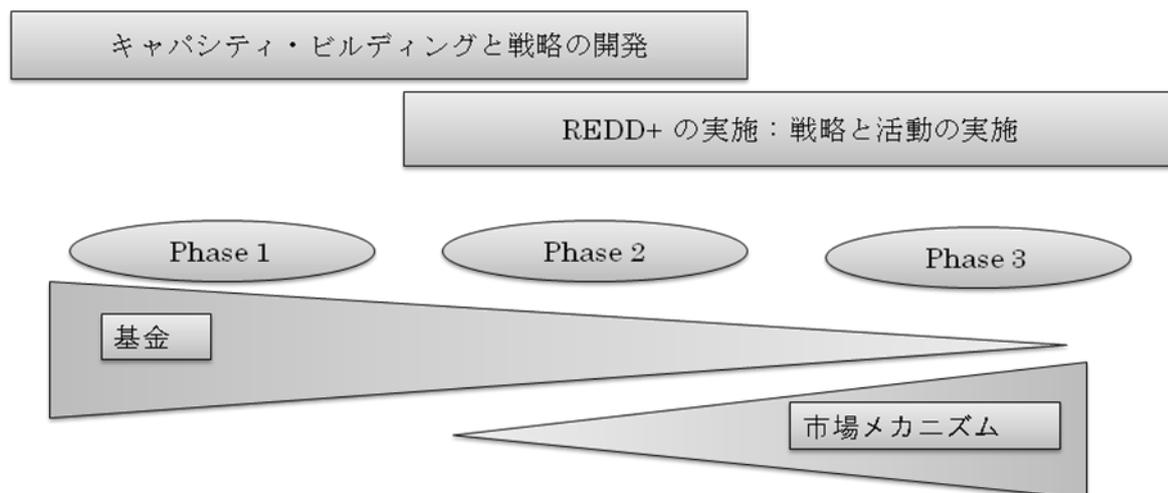


図2-17 ファイナンスシステムの考え方

各段階では実施主体も異なってくる。同じREDD+活動でも基金の部分はREDDを円滑に実施するためのキャパシティ・ビルディングビルが主体であり、森林保全も生物多様性を考慮した活動が付随するようなケースを支援することになる。また、基金をベースにしたキャパシティ・ビルディングビルでは公的機関が主体となり、市場メカニズムが活用されるようになれば私的機関が主体となる。こうした実施主体と基金、支援組織の関係を図示すると図2-18のようになる。

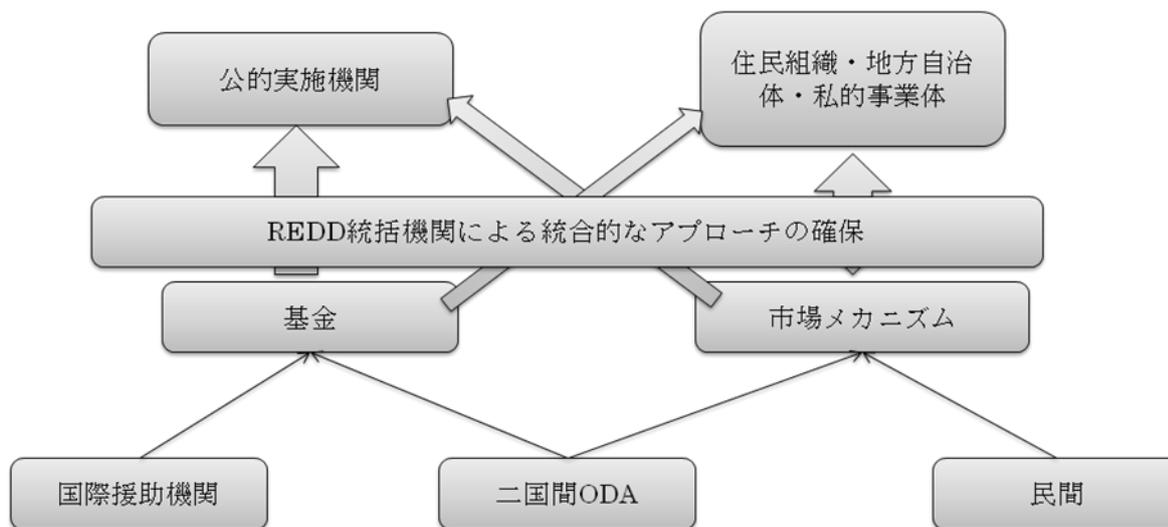


図2-18 REDD+の実施体制

(5) まとめ

森林減少のレファレンス・レベルの設定に関し、概ねその手法を明らかにすることができた。過去のデータとの検証においても良好な結果を得ることができた。今回は1970年以降のかなり長期間の森林統計、社会経済統計、土地利用統計に関するデータを用いることができた。しかし、こうした情報を長期にわたり整備している国はまれであり、今後は、どの程度の期間であれば外挿の形で安定的な予測が可能なのか、REDD+によるクレジットを発生させるのであれば、政策同様に森林減少に影響を与える社会経済状況の変化をどのように予測すればよいのかといった問題

を検討すべきである。また、多くの途上国は社会経済的要因を組み込んで森林減少の傾向を分析できるだけの情報が整備されていない。このため、不合理が生じない範囲で簡易なレファレンス・レベルを設定することが現実的なのかも知れない。機械的に森林減少の削減分をクレジットとして見るのであれば、国の発展段階の違いにより努力以上にクレジットを獲得する国（半工業国）と、努力分が報われない国（最貧国）が生じることは明白である。つまり、同じ1haの森林を残すのに、資源が少なく農地拡大以外に食糧供給の代替案を持ち得ない最貧国と、農業生産性を高めるだけの資金、技術を持ち森林を保全する能力を既に有している国が、達成された成果に対し同じクレジットしか得られないのは、公平性からみて問題があることを認識しておくべきである。

REDD+は森林減少のみならず森林劣化についてもクレジットの対象とすることになっている。しかし、定義やモニタリングの難しさから研究対象としたタイについて明確なアプローチを模索している段階である。今回は二次林を森林劣化と見なした分析を行ったが、二次林の面積については特別な年度やスタディサイト・レベルでの二次林面積の評価しかできず、時系列的な情報の整備については見通しが立っていない。また蓄積変化についても原生林から二次林への移行時にドラスティックに変化することから大量のCO₂放出があることは間違いないが、本サブ課題の研究ではそのモニタリング方法を提示する段階に至っていない。炭素蓄積量を継続的にモニタリングしていけば国レベルでは一定期間内の吸排出量を推定可能だという発想がある。確かに標本調査で国レベルにおいて粗い精度での炭素蓄積量は推定可能である。しかし、これは技術万能的な発想であって長年、熱帯林減少が効果的に抑制できていない社会経済的な背景を無視した考えである。タイでは伐採禁止令を出して森林減少を止めようとした時期もあったがうまく機能しなかった。他の国も同様であるが、REDD+で要求されているのは住民や森林伐採にかかわる企業の活動をモニタリングすることである。REDD+が成果主義をとりクレジットを発生させるのに、クレジット（あるいはREDD+より派生する利潤）配付段階で各地方、集落での活動を十分に反映できないモニタリングでは、森林減少の最前線の人々に森林を保全しようというインセンティブが働かない。その点、森林減少に限ればすでにリモートセンシング技術で局所的な森林のモニタリングが可能となっている。森林劣化や森林修復といった部分にも何らかの指標を用いて、個別の努力に対するクレジット等の報酬の配付が可能システムを作り上げる必要がある。その意味で考えれば、レファレンス・レベルも単に森林の増減を表すだけでなく、住民レベルの活動に対応できるような指標に対するレファレンス・レベルの設定が必要であろう。

本報告では全ての成果を報告できなかったが、定量的なデータを用いて多方面から森林減少の要因分析を行うことができた。とくにスタディサイトから国レベルまで大規模なデータを用いて森林減少の傾向を分析したのはタイでは初めてであり、日本側だけでなくタイにとっても多くのインパクトを与える研究であった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・タイにおける森林資源動態を時系列的に明らかにし、減少に影響を与えると思われる要因についても、統計データを整備した。これにより、REDD+だけに限らず、森林を中心とした土地利用変化の誘因を分析することが可能である。
- ・タイ側研究者にとって京都議定書の内容を理解するのに、プロジェクトが強いインパクトを

与えている。

- ・タイにおける森林資源動態に関連する情報を時系列的に整備し、減少のメカニズムを明らかにするモデルを開発することができた。これにより、REDDを実施する際に不可欠なレファレンス・レベルの設定がタイでは可能となった。併せて、データの整備が遅れている国に適用可能な森林減少の時系列変化のみで推定できる手法についても提案できた。
- ・科学的なレファレンス・レベルの作成手法を提示した。

(2) 地球環境政策への貢献

- ・REDDのもつ問題点及びその解決方法について、COP13のサイドイベント、ESCAPのワークショップ、ITTOのシンポジウム等で発表することにより、交渉担当者などに問題提起を行った。
- ・レフェレンス排出レベルに関するUNFCCC専門家会合（2009年3月、ボン）において、本研究で開発した社会経済的モデルを提案し、世界各国の交渉担当者などへの問題提起となった。また、森林総研REDDシンポジウム（2009年6月、東京）で研究成果を積極的に発表するなど国際議論に貢献した。
- ・ラオスでJICAが実施中の森林保全プロジェクトにおいて、住民及び行政のREDD+プログラム実施のためのキャパシティ・ビルディングを中心としたプロジェクト設計を行った。

6. 引用文献

- 1) Royal Forest Department of Thailand(2006), Forestry Statistics of Thailand - 2006. Bangkok
- 2) ITTO(2007), TO ESTABLISH A NATIONAL MONITORING INFORMATION SYSTEM FOR THE EFFECTIVE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THAILAND' S FOREST RESOURCES, DNP & ITTO
- 3) UNFCCC(2009), UNFCCC/KP/2009/L.15、Report on Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under Kyoto Protocol

7. 国際共同研究等の状況

当研究は早稲田大学とタイ国カセサート大学の共同研究に関する箇所間協定(MEMORANDUM OF UNDERSTANDING BETWEEN THE FACULTY OF HUMAN SCIENCES, WASEDA UNIVERSITY AND THE FACULTY OF FORESTRY, KASETSART UNIVERSITY)の一部として実施された。

協力案件名：Research on the feasibility to estimate the GHG emissions reduction through reducing deforestation

カウンターパート機関：カセサート大学林学部、王室林野局、国立公園局

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

- 1) Amano M., (2008), “Expectation of LiDAR on Forest Measurement in Kyoto Protocol”, Forest Planning, Vol. 13, 275-278

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

なし

＜その他誌上発表（査読なし）

- 1) Amano, M. (2008), “Climate Change and Forest Resources Management”, Strategy to Combat Climate Change and the Pacific, IGES, 65-69.
 - 2) 天野正博(2008)、「気候変動と森林資源管理」,地球温暖化に立ち向かうアジア太平洋の戦略、IGES、 65-59
 - 3) 天野正博(2008)、「国内林業の再生が地球温暖化の観点から持つ意義」、学術の動向、Vol. 13 No. 11、 74-77
 - 4) 天野正博(2008)、「京都議定書の森林吸収の扱いを巡る科学的考察」、環境情報科学、Vol. 37、 No. 1、 9-14
 - 5) 天野正博(2009)、「京都議定書とREDDに対する日本の対応」、ストップ森林破壊 ―気候変動対策に向けた研究者からのメッセージ―、森林総研、 11-17
 - 6) 天野正博(2009)、ARDEC World Agriculture Now、Vol. 42、 13-17
- (2) 口頭発表（学会）
- 1) Nakamura N., Noochdumrong T., Kalyawongsa, S., Umemiya, C., Chikaraishi, H., Amano, M. (2008) Relationship between socio-economic activities and deforestation in Khun Sa Watershed Area. FORTROPII, Kasetsart University, Bangkok.
 - 2) Kusakabel, T., Amano, M., Kalyawongsa, S. (2008) The historical forest area change and its decreasing factors in Thailand. FORTROPII, Kasetsart University, Bangkok.
- (3) 出願特許
なし
- (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）
なし
- (5) マスコミ等への公表・報道等
なし
- (6) その他
なし

B-072 森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究

(3) 森林減少及び森林劣化の発生メカニズムの社会経済的分析

独立行政法人森林総合研究所

林業経営・政策研究領域

横田康裕

(平成19年度は、(独)国際農林水産業研究センター)

〈研究協力機関〉

独立行政法人森林総合研究所	宮本基杖
カンボジア王国 農林水産省林業局	Chann Sophal
ラオス人民共和国 農林水産省林業局	Khamphay MANIVONG
ラオス人民共和国 農林水産省農林業研究所	Chanhsamone PHONGOUDOME
ラオス人民共和国 農林水産省農林業研究所	Khampha CHANTHIRATH

平成19～21年度合計予算額 4,679千円

(うち、平成21年度予算額 1,560千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本研究では、カンボジア・ラオスにおける森林減少・劣化の発生プロセスを社会経済的視点から分析し、それに基づいて、森林減少・劣化軽減の効率性を高めるとともにREDD制度運用による負の影響を回避・軽減するために、REDD制度に盛り込むべき観点を提案することを目的とする。両国の森林減少・劣化の主要要因として、企業・有力者・投資家などによる利潤追求のための商業プランテーション開発・土地投機、地域住民・入植者などによる生活確保のための小規模農地造成・焼畑耕作、違法伐採を含む非持続的な商業伐採、水力発電ダムや鉱山などの施設整備・土地開発があげられた。それらの背景要因として、政治・行政面では、脆弱な森林インフラストラクチャー、性急な開発政策、弱い法執行・ガバナンスが、社会・経済面では、国内外の市場経済の影響、人口・貧困・経済格差の問題、森林へのアクセスの向上が、自然環境面では地勢があげられた。これらの発生プロセスの分析結果から、森林減少・劣化の軽減には、ガバナンスの失敗の軽減と持続的森林経営・持続的開発の促進が課題と考えられた。これらをもとにREDD制度が取り組むべき課題を提案した。国際的議論枠組みに関しては、制度内容面では、国別に柔軟な対応を許容する緩やかな枠組みとしつつも、ガバナンスの失敗を軽減させる制約を設けることが必要である。また実施体制面では、現場レベルでの支援を行う枠組みの設定、持続的な森林経営・持続的な開発・ガバナンスの向上といった既存のイニシアチブとの連携が有効である。各国内での制度設計に関しては、森林減少・劣化の発生プロセスの正確な理解に基づく適切な対応策の策定、現場レベルでの実行力を高める体制の構築、非森林セクターもカバーする体制の構築、既存の持続的森林経営・持続的開発への取組と効率的な連携を図る体制の構築、地域社会からのより自主的な参加を引き出し、また社会的公平を維持・向上させる制度内容の策定とその適切な運用、国境をまたぐ背景要因・リーケージを周辺国等と調整する体制の構築が求められる。

[キーワード] 森林減少・劣化、REDD、要因・発生プロセス、カンボジア、ラオス

1. はじめに

2005年のCOP11以降、「森林減少の回避」制度の議論が活発となり、現在のREDD制度につながるが、制度設立の合意形成が優先され、具体的な制度内容は今後議論されることになっている。森林の減少・劣化は、森林政策、経済状況、社会情勢・慣行、自然環境などの諸要因が複合的に作用した結果であり、国・地域によって減少・劣化の程度やその発生プロセスは異なる。そのため、REDD制度の制度設計によっては、森林減少・劣化回避の達成可能性及びクレジットの付与量、制度実施による影響に関して、国家間・地域間によって大きな差が出ることも予想される。REDD制度の効果・効率性を高め、また国家間・地域間の公平性を保ち、更に社会への悪影響を防ぐためには、できるだけ多くの国・地域における森林減少・劣化への正確な理解と考慮が必要とされる。

2. 研究目的

本サブテーマでは、カンボジア及びラオスにおける森林減少・劣化の発生プロセスについて主として社会経済的視点からの分析を行い、それに基づいて、森林減少・劣化軽減のための効率性を高めるとともにREDD制度運用による負の影響を回避・軽減するために、REDD制度に盛り込むべき観点を提案することを目的とする。

3. 研究方法

(1) 研究構成

上記の目的を達成するために、図3-1のような研究課題構成を設定し、文献調査、日本国内および現地での聞き取り調査、現地での森林・土地利用の実態調査を通じて、分析・考察を行う。

1) 検討課題1；森林減少・劣化の発生プロセスの分析

カンボジアとラオスにおいて、政治情勢や行政、経済状況、社会情勢、自然環境などの諸要因が複合的に作用した結果発生している森林減少・劣化の発生プロセスを、世界的な森林減少・劣化の発生プロセスについてのレビューや地域の森林利用・管理及び政治社会経済状況を踏まえ、分析する。

この際、まず国レベルについて概要を把握し、その上で、森林減少・劣化が激しい地域やREDD候補地域となりそうなところを重点地域として選び、その地域についてより詳細に分析する。

発生プロセスの分析にあたっては、直接要因－背景要因の枠組みを用い、まず主要な直接要因を整理した上で、その背景要因の関与の仕方を、どのようなアクターがどのように関与しているのかにも注目しながら分析し、主要な発生プロセスのパターンを抽出する。その際、定量的データの入手可能性および精度の限界から定性的な分析を主体とする。また、REDD制度による森林減少・劣化のコントロール可能性についての検討を加えるために、政治・行政的要因－それ以外の要因、森林セクター内の要因－セクター外の要因、国内要因－国外要因の軸に注目しながら分析をすすめる。分析対象期間は、カンボジアの内線が終息した1990年代以降とする。

2) 検討課題2；REDD制度に盛り込むべき観定の提案

発生プロセスの分析結果をもとに、REDD制度の影響・課題等に関する議論のレビューを踏まえ

ながら、森林減少・劣化を軽減させるための制度の要件やその制度の運用における留意点など、REDD制度に盛り込むべき観点（重要な視点と課題）の提案を行う。

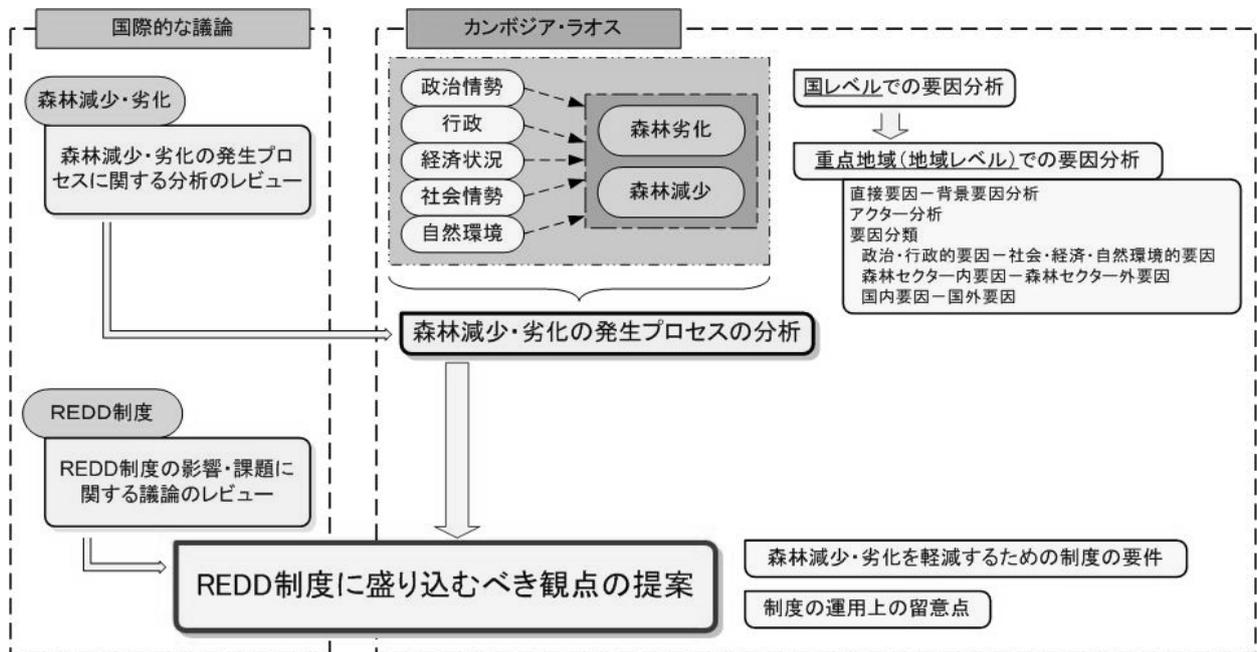


図3-1 サブテーマ3の研究課題

(2) 現地調査

カンボジアにおける現地調査は2008年11月17日～同年12月3日にかけて実施した。首都プノンペン市においてカンボジア農林水産省や環境省等の行政部局（5機関12部局）、日欧の援助機関（4機関6部局）、NGO（3組織）等への聞き取りを行い、あわせて政府文書や各種報告書・統計資料を収集した。また、同国中部のコンボン・チュナン州、北部のオッター・ミアンチャイ州（図3-2）にて、森林・土地利用および森林減少・劣化について森林局地方事務所および地域住民（コンボン・チュナン州；4村、オッター・ミアンチャイ州；3村および1寺院、NGO1組織）への聞き取りを行うと共に実態調査を行った。コンボン・チュナン州は、トンレサップ湖周辺の平野部を多く抱える州で、古くから農業開発が進み、早くから森林が減少していた地域である。また、カンボジア政府がREDD推進のための重要政策と位置づけているコミュニティフォレストリー（CF）が最も早く導入された（1995年）地域でもある。一方、オッター・ミアンチャイ州は、クメール・ルーチュの影響力が最後まで残った地域であり、近年、治安の回復と共に、森林が減少・劣化している地域である。この州では、国際NGOであるCommunity Forestry International（CFI）（2008年にPactに吸収される）が主導してCFプログラムによるREDDのパイロットプロジェクトが実施されている¹⁾。なお、この2州は、サブテーマ（4）の調査地域でもある。

ラオスにおける現地調査は、2009年9月13～24日に、首都ビエンチャン市において行政部局（2機関6部局）や援助機関（1機関2部局）、NGO関係者等への聞き取りを行い、あわせて政府文書や各種報告書・統計資料を収集した。ラオス北部ルアンプラバン県（図3-3）において行政機関（2機関4部局）および地域住民（4村）への聞き取りを行うと共に森林土地利用に関する実態調査を行った。同県は、ラオス国内で最も森林率が低く、焼畑が最も盛んな地域である。ラオス政府は、

は現状では低い（約73.8人/km²）ものの、高い人口増加率が続いている（1998年～2008年の年平均成長率は約1.54%）⁹⁾。

経済状況については、1人当たり名目GDPはASEAN諸国の中ではミャンマーに次いで低い（2007年時点で594USドル）。農業は労働力の約7割を吸収する基幹産業であるが、生産性が低く、時に不作となり食糧が不足する月が発生する。第2次産業としては縫製業が盛んではあるが、投資環境が不十分として外国からの投資がのびず、雇用吸収力が弱い。このため、改善されているとはいえ、なお高い貧困率（全国平均約34.7%、このうちの約91.1%が農村居住）が続いている。近年（2004年～2007年）10%を超える高い経済成長率を示しているが、その一方で経済格差は拡大している。財政も外国からの援助への依存度が高く、国家歳入の約6割強に相当する額の援助を受けている¹⁰⁾、¹¹⁾。

2) カンボジアの森林減少・劣化の傾向

カンボジアでは、土地利用区分上「森林」と分類される土地は国有であり、森林面積は、2006年の衛星を用いた調査によれば約1,073万haで、森林率は約59.1%である。比較的森林が残っているとはいえるが、1965年（森林率は約73.0%）から2006年にかけては約13.9%の減、年平均約0.3%の減であったものが、2002年から2006年の直近を見てみると約61.2%から約2.1%減、年平均約0.5%の減と、減少速度が上がっている（「%」はいずれも総土地面積に対する百分率）¹²⁾。

表3-1 カンボジアにおける森林減少と人口・農地の相関

	1992-1996年			2002-2006年		
	N	森林減少面積	減少率	N	森林減少面積	減少率
人口増加	21	0.13	0.03	22	<u>-0.83</u>	-0.36
工芸作物面積の増加	21	-0.10	-0.09	22	<u>-0.70</u>	-0.11
米以外の食用作物面積の増加	21	0.18	0.06	22	<u>-0.66</u>	-0.19
稲作面積の増加	21	-0.25	-0.01	22	-0.37	-0.30
農地面積の増加	21	-0.21	-0.01	22	<u>-0.65</u>	-0.28
工芸作物面積(初年度)	23	0.34	0.07	22	-0.20	-0.06
工芸作物面積(終年度)	23	0.32	0.05	22	<u>-0.51</u>	-0.09
米以外の食用作物面積(初年度)	23	0.14	-0.11	22	<u>-0.71</u>	-0.32
米以外の食用作物面積(終年度)	23	0.20	-0.10	22	<u>-0.69</u>	-0.24
稲作面積(初年度)	23	-0.32	<u>-0.58</u>	22	-0.42	<u>-0.56</u>
稲作面積(終年度)	23	-0.36	<u>-0.58</u>	22	<u>-0.43</u>	<u>-0.52</u>
農地面積(初年度)	23	-0.25	<u>-0.54</u>	22	<u>-0.48</u>	<u>-0.54</u>
農地面積(終年度)	23	-0.29	<u>-0.54</u>	22	<u>-0.56</u>	<u>-0.48</u>

備考:有意確率(強調表示) $p < .05000$

下線付き強調;有意差有り

米以外の食用作物; Maize, Yellow Maize, Cassava, Sweet Potato, Vegetable, Mung Bean

工芸作物; Peanut, Soya bean, Sugar Cane, Sesame, Tobacco, Jute

統計資料が州別にそろっている森林面積¹³⁾、¹⁴⁾と人口⁹⁾、¹⁵⁾、各種農地面積（農地面積合計、稲作面積、米以外の食用作物面積合計、工芸作物面積合計）¹⁶⁾、¹⁷⁾との関係について州別データを用いて相関を見た結果が表3-1である。1996/97年までと2002/03年以降では森林の定義が異なること、またこの期間にいくつかの州で州境の見直しが行われたこと等から、1992/93-1996/97の変化と2002/03-2006年の変化とを分けて分析した。

1992/93-1996/97年の森林減少面積に相関のあるものはなかった。減少率については、稲作面積

と農地面積で相関が見られた。2002/03-2006年の森林減少面積は、1992/93-1996/97年の3倍と大きく、森林減少面積と相関あるのは、人口増加、農地面積の増加、米以外の食用作物の増加、工芸作物の増加、および農地面積、稲作面積、米以外の食用作物面積、工芸作物面積であった。なお、減少率の方は、1992/93-1996/97年と同様の結果であった。

3) カンボジアにおける森林減少・劣化の発生プロセスの主要パターン

2) の分析結果や聞き取り結果、文献調査結果を元に、カンボジアにおける森林減少・劣化の主要な直接要因を抽出し（図3-4）、その発生プロセスについて、農業開発と木材生産に関する分析結果を示し、その後、これらの要因の複合発生状況について分析する。

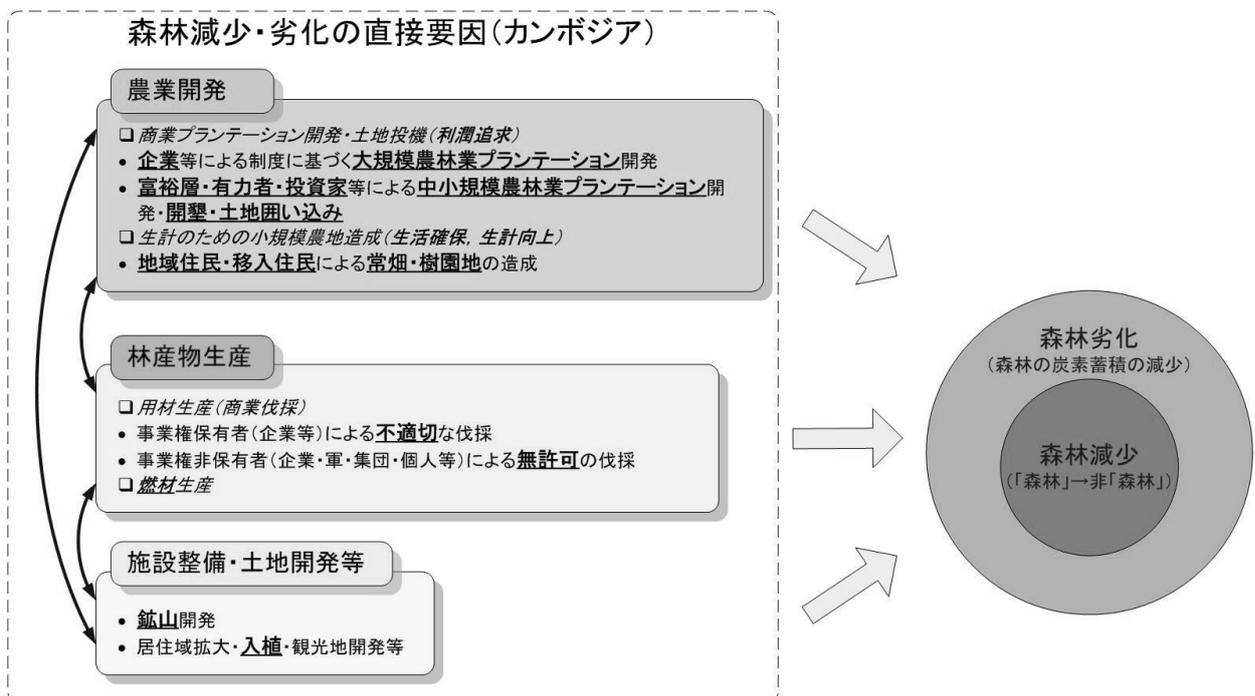


図3-4 カンボジアにおける森林減少・劣化の直接要因

a 農用地等への転換

農用地への転換は、地域住民・移入住民によるもの、富裕層・有力者・投資家によるもの、農林業プランテーション開発コンセッション保有者によるものがある。

i 地域住民・移入住民による開墾

土地無し農民等による開墾、しかも他地域からの移住を伴うケースが多いと考えられる。カンボジアの農村では、相続や貧困を契機に土地無し農家や土地不足農家が増加している。こうした人々は、都市部での雇用が見込めないこともあり、近年発達している道路網をつたって森林地帯に移り住み、新村を形成しその周囲に農地を開墾している。世銀の調査（2004年に8州22, 193世帯を対象にした調査結果）によると、カンボジアにおける土地無し農家率（農家世帯中の割合）は、平均18.9%（7.9-42.2%）と推計されており、その背景には、結婚に伴う独立(26.8%)、転居(26.7%)、病気（により売却）(12.0%)などが挙げられ、土地が無かったために移住してきた世帯は調査世帯の6.74%（0.6-31.4%）にのぼる¹⁸⁾。

開墾した土地では、自身で自給用作物や換金作物を栽培するほか、他の人に開墾地を販売して自分は更に別の森を開墾することもある。

ii 富裕層・有力者・投資家による農林業プランテーション開発・開墾・土地囲い込み

近年のカンボジア経済の成長は、一部に富裕層や投資家を生み出し、彼らや有力者の一部がタイ・ベトナムなどへの輸出向け換金作物（飼料用トウモロコシ、大豆、キャッサバ、ゴム等）の栽培を行うために、コンセッション制度に基づかない中小規模プランテーション開発を行っている¹⁹⁾。あるいは単に投機的に土地を囲い込むために森林を開墾することもある（実際には地域住民等を雇って開墾したり、開墾済みの土地を買い上げたりするため、上記の i との区別がつきにくい）。幹線道路沿い、タイやベトナムあるいは国際貿易港であるシハヌークビルへのアクセスの良い森林がこうした対象とされている。

こうした富裕層・有力者・投資家による森林開墾に限らず、近年カンボジアでは経済開発のために土地需要が急増しており、都市近郊農村での貧農による農地売却が上記 i を助長している。

iii コンセッション保有者による大規模プランテーション開発

経済土地コンセッション制度（ELC: Economic Land Concession）とは、それまで作物ごとに個別に運用されてきた農林業プランテーション開発制度を一本化する制度で、2005年に開始された。コンセッション発給状況は、65件（895,176ha）（2008年11月時点）である²⁰⁾。多くの事業対象地が森林であり（約434千ha分の抽出調査結果によると事業対象地の約84.5%）²¹⁾、政策的な森林から農用地への転換である。

制度自体は合法的であるが、その運用に際しての不適切さとして、木材伐採を行う「隠れ蓑」として伐開後にプランテーションを造成しないこと、事業対象外であるはずの単位面積当たりの蓄積量の多い森林が対象となること、違法開墾を指示・誘導して劣化林にすることなどが指摘されている²²⁾。

b 違法伐採・木材生産

地域住民による自家消費を除くと、木材生産は森林コンセッション制度に基づいて行われることとなっている。違法伐採は、主に i 「不適切な伐採」（森林コンセッション保有者による伐採）、ii 「無許可の伐採」（森林コンセッション非保有者による伐採）に分類できる。

伐採された木材は、国内市場、隣国市場（タイ、ベトナム）に販売されていく。隣国での木材需要については、タイでは1989年以降天然林の伐採を禁止したため、ベトナムでは急激な経済成長に伴う木材需要の急増により、それぞれの周辺国や諸外国への木材需要を高めてきた。カンボジア国内についても、1990年代半ば以降、国内での木材加工工場が急増するが、その生産能力は200万m³におよび、持続的な木材生産量50-100 m³を凌駕する過剰なものであった²³⁾。こうした国内外での旺盛な木材需要が、違法伐採を誘発してきたと言える。

i 企業等による不適切な伐採・木材生産

「不適切な伐採」には、森林コンセッション保有者（木材伐採企業）による、森林法や施業規則違反（年間許容量以上の伐採、伐採対象外の小径木の伐採、伐採許可地域以外での伐採等）に該当する伐採の他、2002年の伐採モラトリアム（後述）以降の、制度をかいくぐってのかなり違法性の高い伐採が含まれる。

森林コンセッション制度は、1994年から開始され、最大時には33件、約700万ha（当時の全森林面積の約70%）が対象となった。この制度により、ほぼ全国の森林（保護区等を除く）で森林伐

採の道が開かれた。この制度は、制度上の不備（事前のアクセスやモニタリング制度が不十分、コンセッション許認可権の所在の曖昧さ）や不適切な制度運営（コンセッション企業による規則違反、それを咎めないようにさせるための政官との癒着・汚職）により、森林資源を大きく損なったとして、NGOや世界銀行などの援助機関から改善を求められた²²⁾、²³⁾。

コンセッション保有企業には、道路建設をはじめ様々な地域社会開発への貢献義務が課せられ、大きなコストが発生する一方、政治・政策が不安定であり、こうしたことも、企業に規則を違反してでも短期的収益を追求させたと言われている²³⁾。

援助機関からの強い指導を受け、森林コンセッション制度は2000年に改正され、2002年からは、各コンセッションホルダーが新たな管理計画を提出するまで、伐採のモラトリアムが開始された（2008年12月現在も継続中）。ただ、モラトリアム以前に伐採済みの木材や違法伐採者が林内に放置した木材は搬出して良いこととされており、この搬出許可書を使い回しての伐採や、他の違法伐採者が放置したものだと偽っての伐採などが行われたと指摘されている²³⁾。また、モラトリアムに入ったことで森林管理が手薄になり、その隙について、上述の農用地開墾や後述の無許可の伐採が多発していると言われている。

ii 企業や地域住民による無許可の伐採・農用地転用

このタイプの伐採は、森林コンセッションを保有していない者・組織による伐採であり、大規模型としては、軍や木材伐採企業、製材所に組織された集団等による伐採があり、小規模型としては地域住民等が伐採を行っている。小規模型については、地元住民等が小規模に盗伐し、それを仲買人が収集して市場に出すシステムが確立している²³⁾。

このタイプの伐採の発生要因として、国内外での木材需要、森林管理コンセッション制度の不備（コンセッション許認可権の所在の曖昧さをついた不正な許可取得）、コンセッション制度運用上の不適切さ（有力者による不正な便宜供与）など「不適切な伐採」と似通っているもののほか、有力者のファミリー企業や軍による直接的な伐採活動、内戦時（～1990年代後半）は反政府組織による独自の許可発給、伐採モラトリアム開始後（2002年以降）はコンセッション保有企業による違法伐採の指示・誘発などが挙げられる²²⁾、²³⁾、²⁴⁾。

c 主要直接要因の複合発生

上記の主要要因は、単独で発生するだけでなく、上述のように連鎖発生が見られる（図3-5）。「非持続的な商業伐採」や「地域住民・移入住民による開墾」により劣化した森林が「プランテーション開発」用地に転用されるほか、こうした「プランテーション開発」や「富裕層・投資家による開墾・土地囲い込み」により「地域住民・移入住民による開墾」が促進されるといった正のフィードバック（負の循環）が見られる。

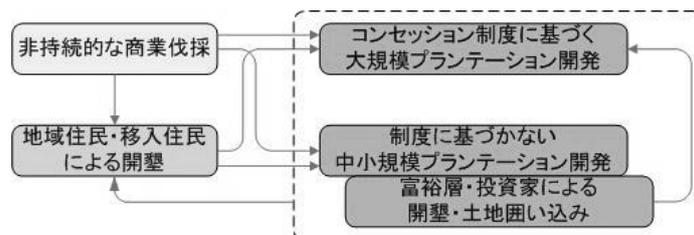


図3-5 カンボジアにおける森林減少・劣化の直接要因の連鎖

(3) ラオスにおける森林減少・劣化

1) ラオスの国概況

ラオスは社会主義国であり、1975年の体制樹立後一党独裁が続いている。行政機構の序列よりも党内での人事序列の影響力が強く、中央の農林大臣よりも県知事の影響力が強い県もある。

人口は、国土面積（約2,368万ha、日本の約2/3）に比して約600万人（2008年）と少なく、人口密度も約24.8人/km²と低いが、約2.3%/年（2007-2008）と高い人口増加率が続いている²⁵⁾。

一人当たりのGDPは875米ドルと低く（2008年）²⁵⁾、後発開発途上国に指定されている。貧困率も改善されてはいるが、なお高い水準にある（26.7%）（2008年）。農業は基幹産業（就業人口構成比；約8割、GDP構成比；30.1%）であり、自給経済の主軸となっている。主要作物は米（水稲、陸稲）だが、時に不作となり食糧が不足する期間が発生する（特に陸稲の割合が高い山間部）。そうした場合、森林は、直接的な食料調達源であるとともに現金収入源として、自給経済を補完するセーフティネットの重要な機能を果たしている。また、国家経済から見ても、木材産業は重要部門であり、その地位は低下傾向にあるとはいえ、今なお主要な輸出部門である（輸出額の約7.8%、第4位）（2006/07）²⁶⁾。近年、周辺国からの投資も伸びており、高いGDP成長率を維持している（約7.8%/年）（2008年）²⁵⁾。その一方で、都市部と特に山間部との間での経済格差は拡大している。

2) ラオスの森林セクター概況

ラオスは、国土の多くが起伏に富んだ山地（約8割）であり、開発や集落の規模拡大が困難であるため、森林が残されてきたともいえる。森林および林地は国有である。

2002年の林地面積は約21,263千haであり、国土面積の約89.8%を占めるが、これには焼畑耕作地やその休閑地などの一時的に森林でない土地も含まれている。それらを除いた林冠投影率10%以上の森林に限ってもその森林率は約71.6%であり、周辺国に比してなお高い値を維持している。しかし、「現況森林」（林冠投影率20%以上）は約9,824千haであり、その率は約41.5%に過ぎず、近年、林分面積の細分化や林分密度の低下等が進んでいる。1982年、1992年、2002年に行われた衛星データを用いた資源調査によると、1982-1992の10年間に1.98ポイントの減少であったものが、1992-2002の10年間では5.67ポイントの減少と、その減少が加速している（森林減少）。さらに、残された森林も、閉鎖林の構成比が約29%（1992年）から約8.2%（2002年）へと激減するなど、質も低下している（森林劣化）²⁷⁾。

3) ラオスにおける森林減少・劣化の発生プロセスの主要パターン

森林減少・劣化の直接要因として、まず農業開発分野では、企業等による制度に基づく大規模農林業プランテーション開発、有力者・投資家等による中小規模プランテーション開発、地域住民による常畑・樹園地・植林地の造成、地域住民による焼畑の継続・拡大があげられる。林産物生産分野では、違法伐採を含む非持続的な商業伐採があげられる。施設整備・土地開発分野としては、水力発電ダムおよび送電網整備、鉱山開発が、その他の分野としては、森林火災があげられる（図3-6）。

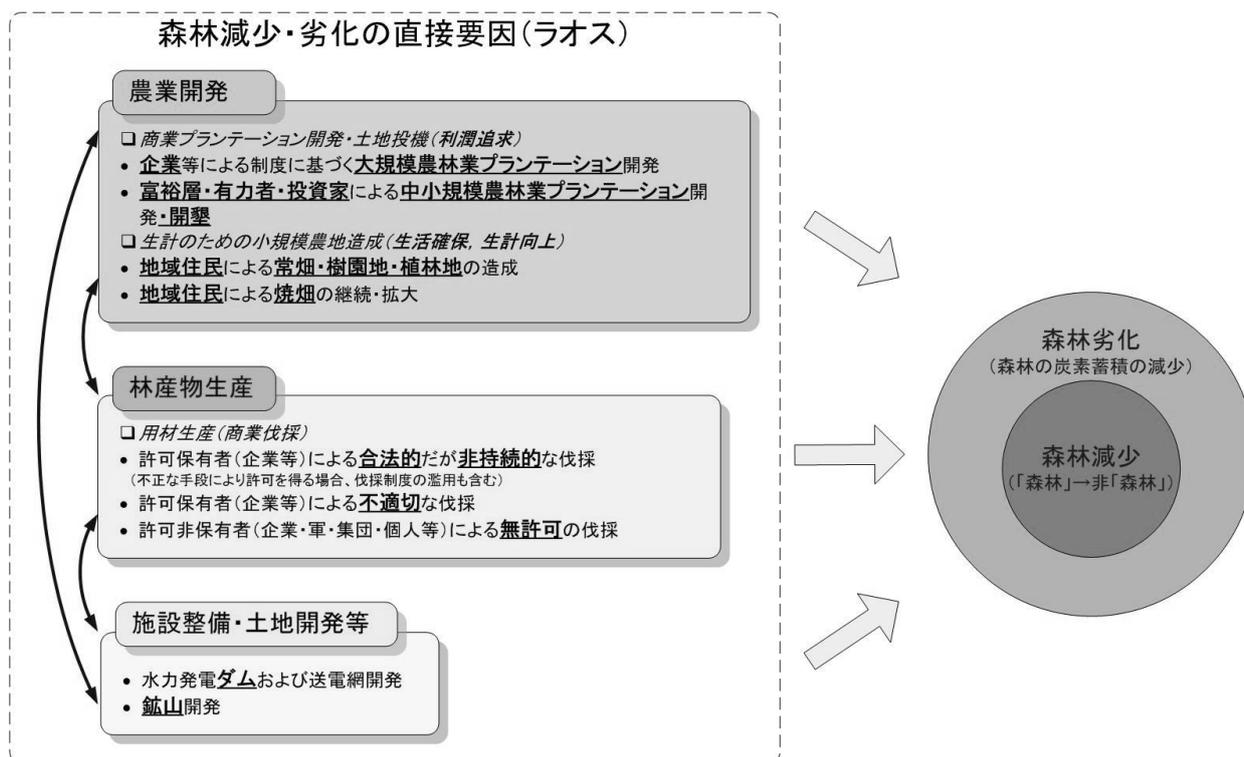


図3-6 ラオスにおける森林減少・劣化の直接要因

a 農用地等への転換

i 企業等による制度に基づく大規模農林業プランテーション開発

主に中南部において、サトウキビ、ゴム、ユーカリなどの輸出産品を生産するための大規模な農林業プランテーション開発がすすめられている。これらは、ラオス政府の「土地の資本的利用」(土地への外国投資の促進)方針のもと、荒廃林地の有効利用による経済発展を目的とし、植林の場合、人工林造成による天然林への伐採圧軽減も目的とされている。税制の優遇や近隣国に比べて安いコンセッション料金設定が行われ、一方、世界的な原料需要の増大、近隣諸国(タイ・ベトナム・中国・インド等)における経済発展・用地不足から、外資の関心も高く、開発が進んでいる。

コンセッション制度は、本来、植生の回復が困難な荒廃林・荒廃地を開発対象としているが、荒廃の定義が曖昧なため、運用の際、木材伐採収入を見込んで蓄積の高い森林が対象とされることも少なくない²⁸⁾。また、地域住民等の既存の土地利用と競合し、その結果、住民による別の森林の利用を誘発することもある。

ii 富裕層・有力者・投資家による中小規模プランテーション開発

大規模プランテーションの場合と同様、世界的な原料需要の増大、近隣諸国における経済発展・用地不足、森林地帯での道路や通信手段等の社会インフラの整備、国内外からの投資家の働きかけを背景に、中小規模プランテーション開発が行われている。中小規模であれば、コンセッションを取得しなくてもよいことから、仲買人・投資家・企業・有力者等が直接村長等の土地利用権保有者と交渉し、開発が進められている。県・郡といった地方行政が仲介にたつこともある。

合法的に転用が進められることもあるが、許可無く森林が転用される事例も少なくない。土地

利用権を有する住民や村内の有力者により、場合によっては村人が誰も知らないところで開発が決定され、地域住民の既存の土地利用と競合する事例もある。そうした場合、大規模プランテーションと同様、住民による別の森林の利用を誘発する。

iii 地域住民による常畑・樹園地の造成

常畑では、自給用作物だけでなく販売用作物（商品作物と食料作物）が栽培されている。樹園地では、ゴムやチークなどが販売収入を目的に植えられている。近年、上述のプランテーション開発と同じく、国内外のマーケットでの需要増、森林地帯での社会インフラの整備、仲買人・投資家の働きかけにより造成が進んでいる。また、常畑・樹園地の造成は、中央・地方両政府が貧困軽減・焼畑削減策として実施している焼畑安定化事業・食料確保事業・商品作物生産事業・貧困軽減事業などの一連の事業の中で主要な手段のひとつと位置づけられ、技術や資金を提供するなどして積極的に奨励されている。

通常は、収穫後の焼畑や休閑林が転用されている。休閑林が転用される場合、一見すると森林が減少するが、休閑林を農地と定義するならば森林減少には該当しない。森林を新規に転用する場合は、森林減少といえる。

また、販売用の作物・樹種を栽培・植栽することで、自給用作物の栽培地が減少している。販売収益で食料を購入する事例もあるが、自給用作物栽培地を新たに確保する事例も多い。チークやゴムなどの収穫までに長期間を要する作物を植えた場合、よりその傾向が強い。樹園地の場合、不意の出費が必要となった際に林地ごと売却されることも多く、そうした場合、生存基盤を確保するために、森林への開墾圧が高まる。常畑における地力維持に失敗した場合も同様である²⁹⁾。

iv 地域住民による焼畑の継続・拡大

焼畑は、ラオスにおける伝統的な農法であり、水田等の開墾が困難な山間地域においては、主要な農業形態である。従来からの自給用作物栽培のほか、近年は、国内外のマーケットの需要増、山間地域での社会インフラの整備、仲買人・投資家の働きかけ等により、販売用作物（商品作物、食料作物）の栽培も広がっている。

政府は、商業的農業への流れを更に進め、焼畑から常畑・樹園地経営への農法転換や畜産・水産業などへの生業転換につなげようとしている。政府はそれ以外にも、集落移転事業（山間奥地集落の道路沿線への移転を促進する事業）や土地・森林分配事業（村界を定め、村内を土地利用区分し、農地利用権を利用者へ分配するとともに森林管理を村へ委譲する。焼畑用地の固定化・用地数の減少をもたらしている）を実施し、焼畑の制限に取り組んでいる。統計上、焼畑面積は1980年の約297,412haから2005年の約105,240ha³⁰⁾と激減しているが、これほどでないにしても、全体的に、特に中南部において減少傾向にある。

しかし、山間地域、特に北部地域では、農法・生業の転換に適応できない・賛同しないために、あるいは商品作物栽培への依存に伴う市場・気象リスクを回避するために、焼畑耕作を継続する人々は多い。更に、人口増加、貧困からくる土地利用権の売却、プランテーション開発や後述するダム開発等の開発事業に伴う土地収用、また、先の集落移転事業によって移転した先における土地需要の逼迫、土地森林分配事業による利用地の限定等により、土地無し・土地不足世帯が出現しており、焼畑用地への需要は低下していない。焼畑用地需要の増加や森林土地分配事業により利用地が限定されることは、休閑期間の短縮につながり、地力の回復が伴わない場合、森林の新規開墾につながる。

焼畑の維持により休閑林が定期的に農地への転用と植生の回復を繰り返している。農地への転用の際には、先述のように休閑林の定義次第では、森林減少には該当しない。地域によっては、既に森林の新規開墾が発生しており、森林減少をもたらしている。特に北部における主要な森林減少・劣化要因とされている²⁷⁾。

b 非持続的な商業伐採（違法伐採等）

ラオスでは、生産林における森林計画の制定が遅れており、そのため多くの伐採が非持続的なものとなっており、違法性の高い伐採も横行している³¹⁾。違法材の生産量は公式統計には計上されないが、年間の伐採許可量40-50万m³の倍近くとの推計もある³²⁾。非持続的な伐採により、森林の劣化、場合によっては減少がすすんでおり、特に中南部における主要な森林減少・劣化要因とされている²⁷⁾。

ラオスにおける木材生産は、周辺のタイ・ベトナム・中国の政策・経済の影響を強く受けている。タイ・中国での天然林の禁伐政策やベトナムにおける経済・木材加工産業の急速な発展は、それぞれの国内で、ラオスからの木材調達（合法材・違法材を問わず）を増加させた。更に、ベトナムは、以前はインドネシアから違法材を調達していたが、インドネシアでの取り締まりが厳しくなると、ラオスにその代替調達先を求めたという国際的な影響も見られる³³⁾。

ラオスにおける違法伐採のタイプには大きく、i「不適切な伐採等」（公式な伐採許可を保有する者による違法行為）、ii「無許可の伐採・農用地転用」（公式な伐採許可を保有しない者による違法行為）、iii「伐採制度の濫用」（公式な許可の発出・取得過程における違法行為、制度のグレーゾーンをついた違法行為）があげられる³¹⁾。

こうした非持続的な伐採の背景には、ラオス政府の短期的利益追求とそこでの木材産業の重視、国際水準からみて安すぎる木材伐採料、伐採許可量に比して過剰な製材工場数・加工能力、タイやベトナムからの旺盛な木材需要があげられる。

i 企業等による不適切な伐採等

政府から認可を受けた伐採事業において、許可内容の逸脱・違反、森林法や施業規則違反を伴う伐採活動が行われている。そもそも、生産林における森林計画の制定が遅れており、森林法でいうところの「森林経営計画がある生産林」が少ない³¹⁾ことから、それ以外の生産林での伐採活動は厳密に言えば森林法違反になってしまう。それを除いても、商業的価値の高い樹種を伐採するために周辺木を伐倒することや割当量以上の伐採、伐採禁止樹種の伐採、割当対象地域外での伐採などが行われている。また、特にダム建設予定地において、他地域で生産された違法材を混ぜて木材ロンダリングを行う事例も報告されている³⁴⁾。

ii 企業や地域住民による無許可の伐採・農用地転用

公的機関からの許可を受けていない伐採活動や無許可の農用地転用に伴う伐採活動が行われている。違法伐採材の市場が各地域で形成されたことが、地域住民の違法伐採活動への参入を容易にし、参入を促している。

iii 行政機関・企業等による伐採制度の濫用

iii-1) 伐採許可の乱発

中央の農林省以外の公的機関（県・郡や軍など）が独自に伐採許可を出している。県においては、中央から指示された伐採割当量以上、伐採対象林以外の場所を対象に伐採活動を許可し、郡や軍は全く独自に伐採許可を出すケースが多発している。中央政府・法律のコントロール外とい

う意味では、「無許可の伐採」と同等であるが、まがりなりにも公的機関が許可している点で異なる。伐採活動が中央から県に委託される制度と中央政府の地方行政へのコントロールの弱さがこうした事態を生みやすくしている。

iii-2) 「荒廃林」における木材生産

「荒廃林」という蓄積の低い森林を対象に、プランテーション開発が許可されており、その造成作業の一貫としてそこに生えている木の伐採が可能である。制度自体は合法であるが、その運用に際しての不適切さとして、このプランテーション開発用地の選定において、実際には蓄積の高い森林を「荒廃林」と偽り、生えている木を伐採・販売することが行われている。中には、植栽した農林樹種の管理もそこそこで撤退する、プランテーション開発とは名ばかりで単に木材生産のカモフラージュではないかと思われるような事例も報告されている²⁸⁾。これは、「荒廃林」の指定がまだ完了しておらず、未決定地は地方行政が判断できる上に、「荒廃林」の定義が曖昧なために生じている。また「荒廃林」での原木販売収入は全て県に入るため、県がこの制度を濫用しているのではないかという推測もある。

iii-3) 「枯死木」の収穫

枯死木の収穫は正式な手続きをふまなくても可能であるため、傷を付けて枯死させたり、生木を枯死木と認定させたりする事例が報告されている³¹⁾。

c 施設整備・土地開発等

ラオスにおける活発な大規模開発として、水力発電ダム・送電網整備と鉱業開発があげられる。どちらもラオスの主要外資導入部門に位置づけられている。前者は、山地地形を活かして大規模な水力発電ダムを建設し、「アジアのバッテリー」として近隣国に売電することで外貨を獲得し経済発展につなげることを目的としている。一方、ダム建設と送電網敷設のために、中南部を中心に森林が水没・伐開されており、これまでに約140,000haが水没した。こうした直接的な森林の減少だけでなく、水没移転者・集水域からの立ち退き者による代替地の利用・開墾による森林減少も発生している³⁵⁾。

銅や金などの鉱業開発も、ラオス政府の外資導入の主要分野として近年急速に拡大しており、外国直接投資の約2/3を占める。水力発電ダム開発と同様に、直接的な森林の減少を引き起こすほか、地域住民等の既存の土地利用と競合した場合、彼らの土地を収用し、その結果別の森林の利用を誘発している。

d 主要直接要因の複合発生

カンボジアと同様、直接要因の間での連鎖が見られる(図3-7)。非持続的な商業伐採により、プランテーション開発や常畑・樹園地・植林地の造成が進み、その場所が焼畑休閑地であった場合は、代替地を求めて焼畑の拡大につながることもある。一方、水力発電ダム開発は、住民の農用地の収用を伴うことが多く、その結果、代替地を求めて、常畑・樹園地・植林地の造成や焼畑の拡大につながる。代替地が別の住民の焼畑休閑地を利用すると、玉突きで焼畑の拡大につながることもある。

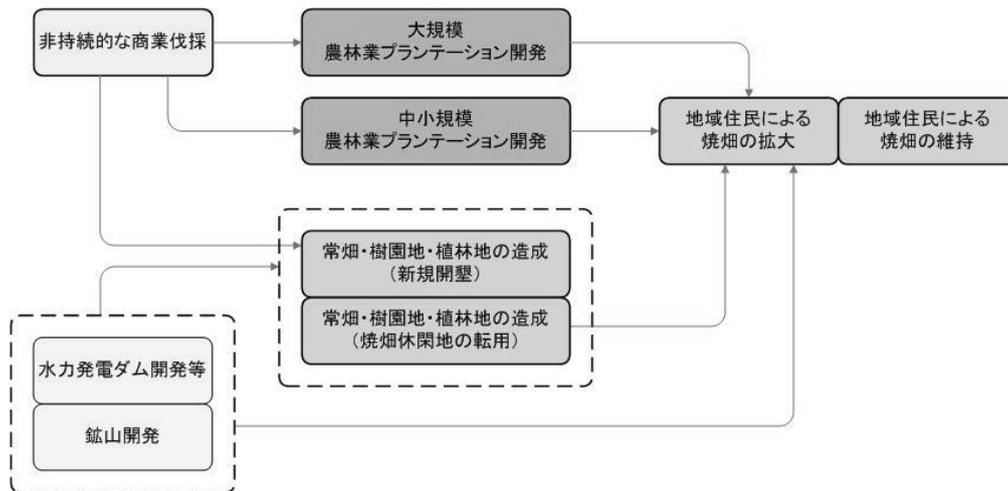


図3-7 ラオスにおける森林減少・劣化の直接要因の連鎖

(4) 森林減少・劣化の背景要因

カンボジアおよびラオス全般的に共通する背景要因として、既に述べてきたものを含めて、「政治・行政」、「社会・経済」、「自然環境」の各側面について述べる^{22)、24)、26)、27)、28)、29)、31)、32)、33)、36)、37)、38)、39)、40)}。なお、これらの背景要因は、要因間の連鎖・助長、相互作用や相乗作用があり、場合によっては入れ子状になるなど、各側面を厳密に区分することは困難であり便宜的なものである。

a 政治・行政的背景要因

政治・行政的背景要因として、大きくは「脆弱な森林インフラストラクチャー(制度・組織)⁴¹⁾」、「性急な開発政策」、「弱い法執行・ガバナンス」があげられる(図3-8)。これらの間でも、連鎖・助長や相互作用がみられ、特にガバナンスの問題は、脆弱な森林インフラや性急な開発政策の問題が原因でもあり、かつそれらによって助長されている。ラオスでは「森林セクターはガバナンス問題の展示場³²⁾」と言われているが、カンボジアにおいても同様であり、こうした森林ガバナンスの弱さについて、政・官・民による私的利益追求の結果、森林減少・劣化につながっている。

森林インフラストラクチャーの問題としては、まず「法制度の不備・グレーゾーンの多さ」(運用のための細則等の不足、明瞭な基準の不在、権限の不明瞭さ、法律・制度間での調整・連携不足)と、「行政組織の弱さ」(資金・人材・資材不足、部局間の連携不足)があげられる。これらのことが原因ともなって「基盤整備の遅れ」として「土地利用区分の遅れ」(森林の境界確定や森林機能区分が未完)や「森林所有権・管理権・国有の危うさ」(地域社会の慣行利用や先取占有慣行の強さ、開発者による既存の権利の無視・軽視)といった問題も生じている。カンボジア・ラオス固有の状況として、カンボジアでは、国有林をめぐる問題について、行政と地域住民・開発推進アクターとの土地獲得のせめぎ合いが顕在化している。具体的には、国有林に境界杭があったとしても移動させられる、地域住民は国有林といえども先取占有の慣行(利用実態)を優先させる、2001年以前の既存開墾地の追認という制度の現場での混乱などの状況がみられる。ラオスでは、行政組織の弱さの問題について、行政機構内の序列と党内の序列の不一致からくる中央官庁による地方行政のコントロールの弱さという状況がみられる。

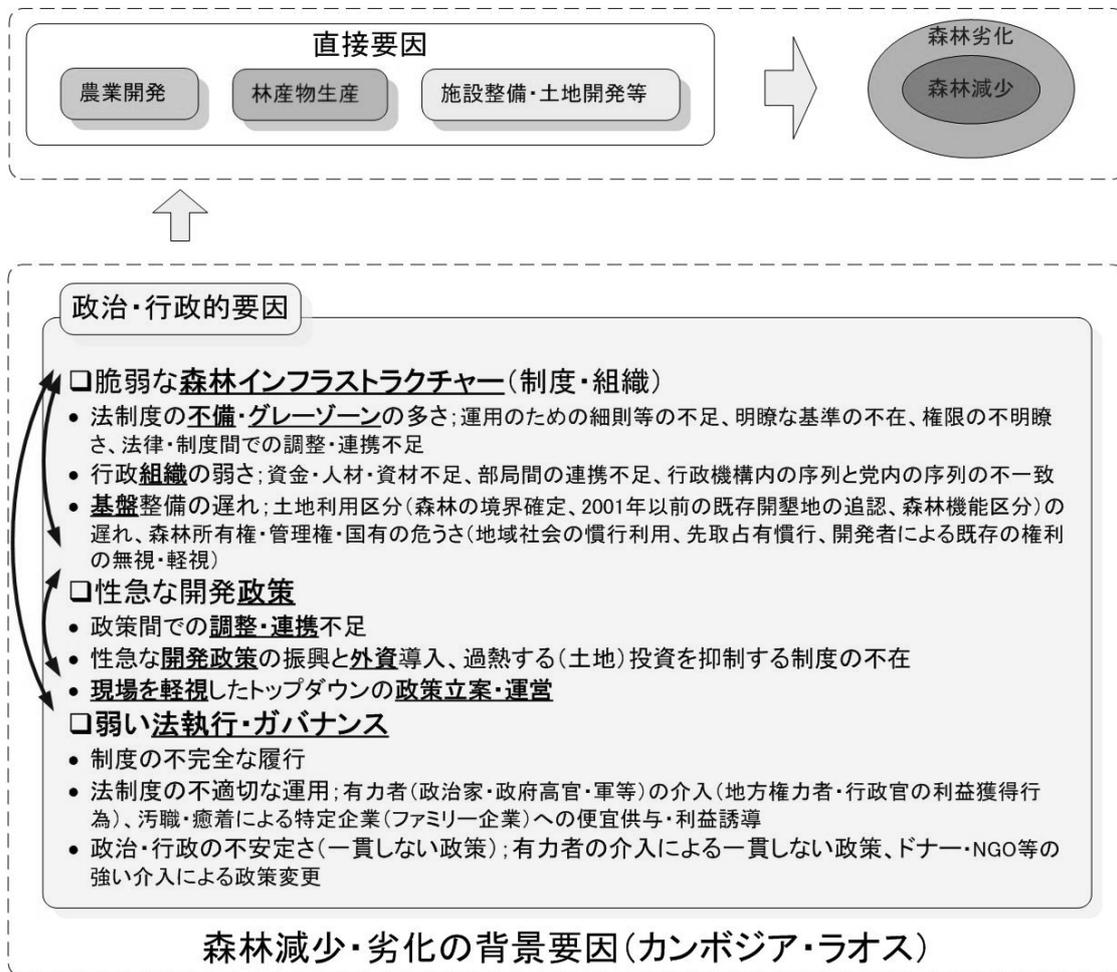


図3-8 政治・行政的背景要因

開発政策の問題としては、「政策間での調整・連携不足」、「性急な開発政策の振興と外資導入」、「過熱する(土地)投資を抑制する制度の不在」などの要因がある。ラオスにおいては、貧困脱出・経済発展といった国是への邁進により、性急に「土地の資本的利用」(外資導入)や「商業的農業生産」が促進されている。しかし、焼畑削減政策と農法・生業転換政策との組み合わせなど、本来一体的に運用され補完的に効果を発揮するはずの政策・事業が、調整・連携を欠いたり、森林土地分配事業とプランテーション開発等とがオーバーラップするなど、現場の土地・森林利用実態を軽視したまま「トップダウンで事業が立案・実施」されることもある。そうした場合、事業実施によって、かえって貧困脱出が阻害され、さらに地域住民による森林の開墾を誘発する。

法執行・ガバナンスの問題としては、「制度の不完全な履行」、「法制度の不適切な運用」(政治家・政府高官・軍等の有力者の介入、汚職・癒着による特定企業への便宜供与・利益誘導)が生じている。カンボジアでは、後者について、首相周辺ファミリー企業の問題が有名である²⁴⁾。ラオスにおいては、前者について、政治体制から政策目標がトップダウンでおりにくるが、「現

場の実行体制を無視・軽視」していることも度々で、制度の履行が不完全に終わることが多い。後者については、中央官庁による地方行政のコントロールの弱さから、地方権力者・行政官の利益獲得行為が顕著である。これらの2つの問題の他にも、カンボジアでは、有力者の介入による一貫しない政策、ドナー・NGOの強い政策改善要求への対応などから「政治・行政の不安定さ」が生じている。

b 社会・経済的背景要因

社会・経済的背景要因として、大きく「市場経済の影響」、「人口・貧困・経済格差の問題」、「森林へのアクセスの向上」があげられる（図3-9）。ここでもやはり、経済格差の結果としての富裕層・投資家の出現と森林アクセスの向上があいまって、森林地帯における市場経済の浸透が進むなどの連鎖が見られる。

市場経済の影響としては、「国内および国外（特に近隣のタイ・ベトナム・中国等）の農林産物需要の増加」や「国内および隣国からの投資家・企業の活発な活動・土地投機」が、様々な森林開発行為を促進している。（3）、（4）で述べてきたように、両国の経済は、国内アクターおよび国外アクターを通じて、周辺のタイ・ベトナム・中国の政策・経済・社会情勢の影響を強く受けている。また、特にカンボジアでは、上述のように富裕層・有力者・投資家による土地囲い込みが顕著である。

人口・貧困・経済格差の問題としては、「高い人口増加率」（自然増、森林地帯における社会増）、「高い貧困率」（農業生産性の低さ、不十分な就労機会・第2次産業等での雇用吸収力の低さ、地域住民の市場経済への適応力不足）が、様々な森林開発行為を引き起こし、あるいは助長している。更に、農山村部では都市部との経済格差が拡大し、一部の貧困者は富裕層・有力者・投資家に土地（土地利用権）を売却し、生産基盤を失い、更なる貧困に繋がる悪循環も見られる。特にカンボジアにおいては、経済開発や富裕層・有力者・投資家の土地投機も加わって土地売買が盛んであり、国有林内で不法開墾した土地も活発に売買されている（非合法）。ラオスにおいては、政治・行政的背景要因である集落移転事業や森林土地分配事業、更に直接要因である様々な開発活動による土地収用が加わり、森林地帯における土地不足は悪化している。

森林地帯において、道路網・通信網・金融サービスなどの社会インフラ・諸サービスが向上し、森林へのアクセスが向上すると共に商圈が拡大している。カンボジア北西部においては、内戦終了による林内の治安の向上、それに伴う林内の地雷撤去作業の進捗なども影響している。

c 自然環境的背景要因

自然環境的側面では、地勢の影響が見られる（図3-9）。カンボジアやラオス南部などでは、森林地帯であっても地勢が平坦であり、そのため用地転用がすすみやすい。一方、ラオス北部など、山岳地形の場所では、用地転用は進んでいないものの、焼畑耕作が盛んとなっているほか、大規模な水力発電ダム開発が進められている。

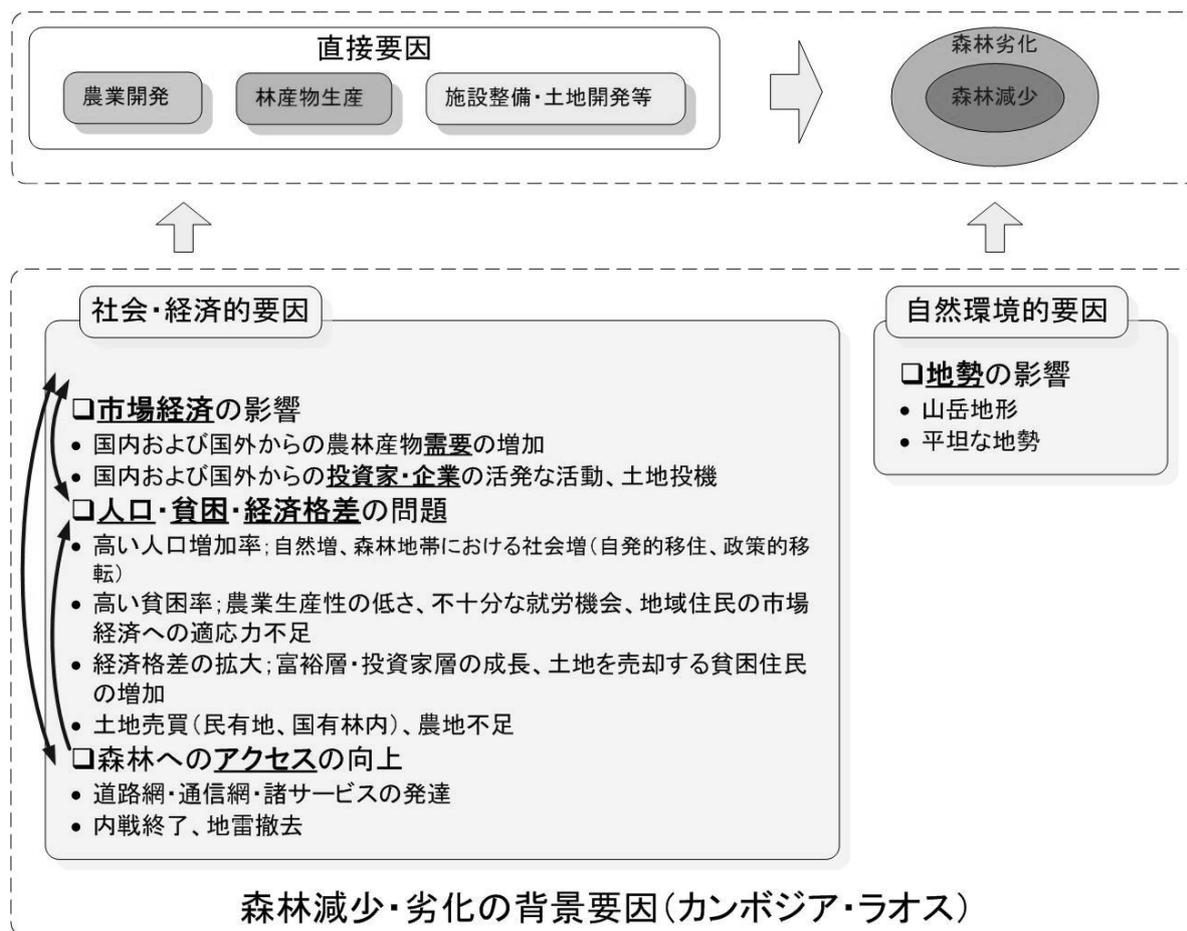


図3-9 社会・経済的背景要因、自然環境的背景要因

(5) REDD制度が盛り込むべき観点

1) カンボジアとラオスにおける森林減少・劣化の発生プロセスの分析

a 発生プロセスの共通性と固有性

カンボジアとラオスにおける発生プロセスや直接要因・背景要因は多くが両国に共通しているが、それぞれの国・地域に特有のプロセス・要因もある。また、地域ごとに要因の影響の強弱も異なる。例えば、最も主要な直接要因は、ラオス北部では焼畑の継続であり、ラオス中南部では非持続的な商業伐採であり、カンボジアでは農地転用であった。更に、発生プロセスの大まかな構図は共通していても、その細かいプロセスや背景要因を見ていくと、カンボジアとラオスとはそれぞれの特色がみられることもある。例えば、「弱い法執行・ガバナンス」について、カンボジアは、首相一派による恣意的な政治運営や、その逆に国際機関やドナー国からの改善要求への対応などの結果、政策の変更が頻繁であり、これら内外の状況から、法執行・ガバナンスの弱さが生まれている。他方、ラオスは一党独裁で安定した政治体制ではあるものの党内の序列が行政機構の序列と一致して居らず、そのことが中央官庁による地方行政のコントロールを弱め、ガバナンスの弱さにつながっていた。

これらの差違は、政治・経済体制や政策・財政、経済状況・産業構造、地形、農業システムなど様々な要素の違いの影響といえる。森林減少・劣化対策は、それぞれのプロセスや要因に応じ

た内容とすることが必要と言える。

b 森林減少および森林劣化の定義

森林減少・劣化の発生プロセスが同じでも、土地利用区分の定義次第では、森林「減少」にも「劣化」にもなる。例えば、プランテーション開発は、農業プランテーション・林業プランテーションともに、利益獲得行為という構図は同じでも、栽培される作物が農作物に分類されるか樹木に分類されるかで、森林減少になるか劣化になるか結果が異なる（表3-2）。

森林の定義は各国に任されているが、REDDの理念に沿った適切な定義づけとすることが求められる。

表3-2 カンボジア・ラオスの森林減少・劣化要因(直接要因)

主要な直接要因	植生(森林被覆)変化プロセス*	土地利用タイプ**)	森林減少/劣化
地域住民・移入住民による開墾	森林→非森林	林地→農地(草地)	森林減少
富裕層・投資家による開墾・土地囲い込み	森林→非森林	林地→農地(草地)	森林減少
コンセッションに基づかない中小規模プランテーション開発			
木本性タイプ1(林地に分類されるプランテーション); ゴム、カシューナッツ等	森林→(一時的な非森林)→森林	林地→林地	森林劣化***)
木本性タイプ2(農地に分類されるプランテーション); 果樹、オイルパーム等	森林→(一時的な非森林)→森林	林地→農地	森林減少
草本性タイプ; キャッサバ、サトウキビ等	森林→非森林	林地→農地	森林減少
コンセッション制度による大規模プランテーション開発			
木本性タイプ1(林地に分類されるプランテーション); ゴム、林業樹種、カシューナッツ等	森林→(一時的な非森林)→森林	林地→林地	森林劣化***)
木本性タイプ2(農地に分類されるプランテーション); オイルパーム	森林→(一時的な非森林)→森林	林地→農地	森林減少
草本性タイプ; キャッサバ、サトウキビ等	森林→非森林	林地→農地	森林減少
(伐採のみで植栽に至らない場合)	森林→非森林	林地→草地	森林減少
違法伐採・木材生産・薪炭材採取			
(伐採が軽度な場合)	森林→森林	林地→林地	森林劣化
(伐採が激しい場合)	森林→非森林	林地→草地	森林減少

備考;*)森林の閾値(最低樹冠投影面積率;10%-20%、最低樹高;5m、最小面積;0.5ha)のみで植生を区分

***)IPCC(2003)Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry¹²⁾による土地利用6区分で区分

***)元々の森林植生の蓄積が低くプランテーション造成により森林蓄積が増加する場合は「劣化」に当たらない

c 実施体制

i 脆弱な組織

カンボジアにおける保護地域、ラオスにおける森林土地分配事業など、既にいくつかの森林減少・劣化対策が取られている。それらの実施状況をみると、保護地域については、NGOが継続して資金と人材を投入して保護活動を支援しているところでは、よく保護されているが、NGOの支援が不十分なところでは、森林減少・劣化が進んでいた。政府の現在の資金・人材・資材だけでは、十分に制度が機能していなかったといえる。ラオスにおける森林土地配分事業についても、同じく、ドナー・NGOが資金・人材を支援したところでは制度の狙い通りの活動が実施されたが、通常は、行政の資金・人材・時間不足により、運用が不可能となっていた。実行体制への配慮を欠いた過大な目標設定と作業量により、制度が殆ど機能していなかったといえる。

各国のREDD対応プログラムを評価するには、政策・プログラムの内容評価とともに実施体制の評価が必要といえる。また、実施体制が整うまでの間、NGO・ドナーなどからの現場レベルでの支援を投入することも必要といえる。

ii 制度運用・背景要因

カンボジアでは、コミュニティ・フォレストリー(CF)や違法伐採対策など、外部のドナー・

NGOの強い「指導」のもと制度が急速に導入された取組もある。CFについては、1990年代以降ドナー・NGO等が試行し、政府がそれを参考に重要課題化して始まったという経緯を持ち、また最近ではNGOの支援でREDDのパイロットプロジェクトが実践されている。CF設立には多くのNGOが支援を行い順調に広まっていったが、設立後に支援を引いたところでは活動が停滞するという事例も多い。そうした事例では、地域社会のニーズを反映したプログラム内容となっていなかったり、あるいはプログラム開始前のオリエンテーションが不十分であったりするために、地域社会の主体的参加がえられずプログラムが継続しなかったと言える。違法伐採対策の事例では、ドナー・国際援助機関からの要請やNGOのキャンペーンの「外圧」により急速に取組が進み、森林セクター内で制度の改正・新設、新しい部局の設立などが行われた。しかし、こうした制度が十分には機能を発揮しているとも言えず、違法伐採の背景要因といえる有力者等の介入・汚職（ガバナンスの失敗）への取組、非森林セクター（土地・経済政策）からの協力取り付け、域住民を違法伐採に参入させないよう貧困軽減・非農業セクターの発展等の社会・経済発展への取組が課題となっている。

新しい制度を導入する際に、国外からの「外圧」や「指導」により、急速に取組がすすむという効果は期待できる。しかし、制度を定着させるためには、地域社会からの主体的参加が得られるような制度内容と運用とする必要があり、また、ガバナンスの失敗や非森林セクターの影響、社会・経済上の問題など森林減少・劣化の背景要因への取組が必要と言える。

d アクター

森林減少・劣化の発生プロセスにおいて関連するアクターは多様であり、例えば、政府の中にも、中央政府と地方政府があり、更に中央政府の中でも、森林セクターと非森林セクターが、森林セクター内でも保護セクションがあれば開発セクションもある。地域住民といっても一枚岩ではなく、地元住民と入植者で立場が異なるし、富裕層・投資家と貧困層、土地所有権を持っているものとそうでないものとは、行動様式は異なる。分析に際しては、あまり細かく分類しすぎても却って現状の理解の妨げとなるが、適切な細かさで分類することが必要である。

その中で、社会的・経済的弱者については、十分な目配りが必要である。零細農民や土地利用権を保有していない住民、商業的農業に適応できない住民などは、社会的にあるいは経済的に弱者であるがゆえに、その森林開発行為が森林減少・劣化対策の対象となりがちである。しかし、こうした人々が引き起こす減少・劣化は、生活確保のためであったり、他のアクターの利潤獲得行為のしわ寄せの結果としてであったりするため、止めることは容易ではないし、国際的な社会的公正の視点からも不公平とされる。

例えば、ラオス北部山岳地域においては、開発行為によって引き起こされる土地収用、集落移転事業・森林土地配分事業といった政府事業による利用地の制限、地域住民による焼畑の常畑・樹園地への転用、貧困等による土地売却等の結果、土地が不足し、農地の過剰利用からくる地力の低下がおこっている。言い換えれば、国家目標の追求や森林ガバナンスの弱さをついた私的利益追求の結果、零細農民・土地利用権を保有していない住民・商業的農業に適応できない住民などの社会的・経済的弱者へのしわ寄せが発生し、彼らの生活・経済基盤の脆弱化が進んでいる。その結果、森林の開墾・利用圧が増大する構造が見られる。この地域における焼畑の維持・拡大はその象徴ともいえる。こうした状況の中で、焼畑撲滅は主要な政策目標に掲げられ、社会的・経済的弱者を対象にした支援ともあわせていくつかの事業が取り組まれている。それらが効力を

発揮するためには、その実施において、公平な制度の運用（ガバナンスの向上）、現状を踏まえた実効性のある生業支援・生業転換支援（諸政策・事業の調整・連携）、焼畑対策・生業転換の必要性の地域ごとの再検討（現場重視）といった社会的・経済的弱者への十分かつ注意深い取組が求められている。

森林減少・劣化対策においては、社会的・経済的弱者への慎重な対応策を盛り込んだ内容と運用とすることが、森林減少・劣化を軽減させるために有効であり、また国際的な社会的公平の視点からも求められる。

2) REDD制度設計に関する検討

これまでの分析やREDDに関する議論の文献調査等を踏まえ、REDD制度が森林減少・劣化の軽減を効果的にすすめるためには、大きく見れば、いかにガバナンスの失敗を軽減させ、また持続的森林経営や持続的な開発を促進するかが課題といえる⁴³⁾。REDD制度設計（「国際的議論枠組み」の設計と「各国内での制度」の設計）に関する重要な視点・課題を図3-10に提示する。

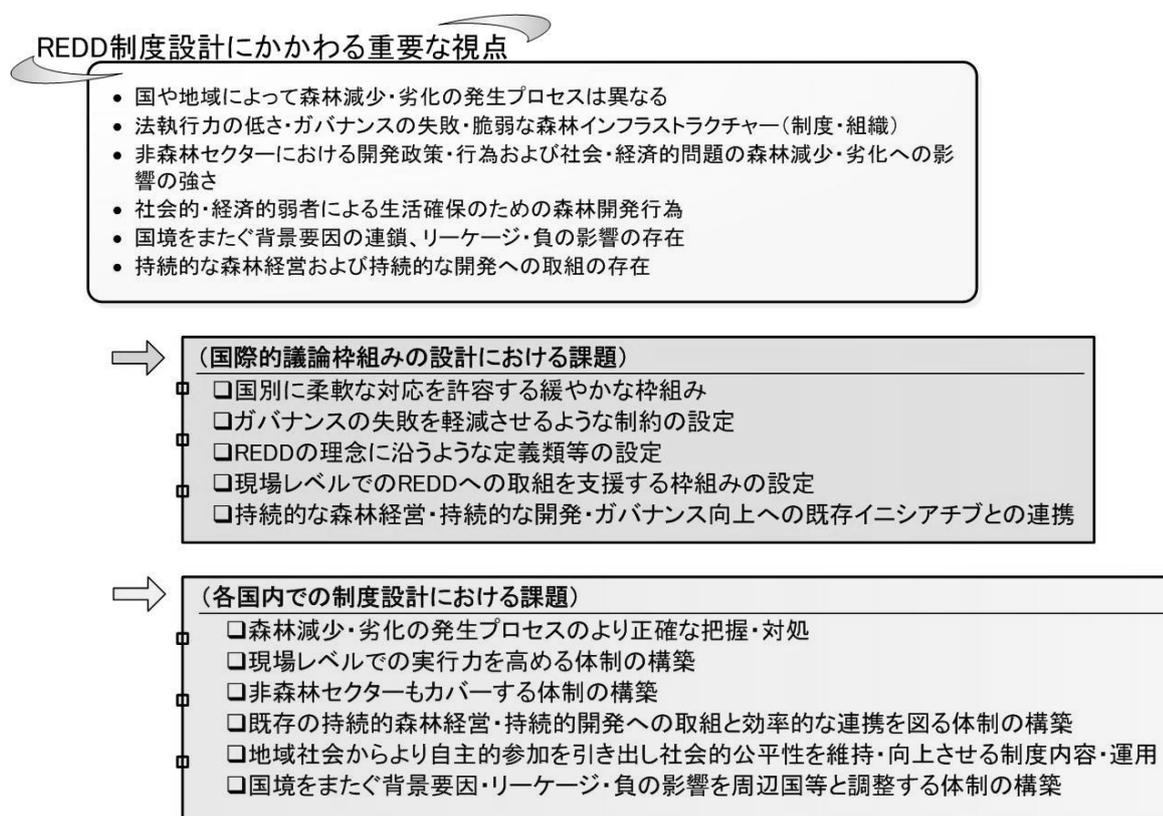


図3-10 REDD制度が盛り込むべき観点

REDD制度のうち、「国際的議論枠組み」に関しては、制度内容面では、国別に柔軟な対応を許容する緩やかな枠組みとする一方で、ガバナンスの失敗を軽減させるような制約やREDDの理念に沿うような森林定義・実行ルールをどの程度設けるかが課題と言える。また、実施体制面では、現場レベルでのREDDへの取組を支援する枠組みの設定や、既存の持続的森林経営への取組（森林

インフラストラクチャーの整備、森林認証の推進等)あるいは持続的な開発への取組(社会的公平性への配慮、貧困軽減、経済開発、法執行力の強化・ガバナンスの向上等)に関するイニシアチブと連携し、それらを活用してREDDの取組を促進する枠組みが求められる。

「各国内での制度」に関しては、まず、国内の森林減少・劣化の発生プロセスをより正確に把握し、REDD制度を通じて対処すべきものを選定し、その発生プロセスに対応した対処方法を検討することがスタートとなる。既存の持続的森林経営あるいは持続的な開発への取組と効率的な連携あるいは調整を図る体制や、非森林セクターもカバーする体制を構築すると共に、その際、地域社会への配慮、地域ニーズの反映などにより地域社会からのより主体的な参加が得られ、また社会的公平性を維持・向上させる制度内容・運用とすることが必要である。当面NGOやドナーの支援を取り付けるなどしてでも現場レベルでの実行力を高める体制を構築することが必要である。更に、国内における体制構築だけでなく、国境をまたぐ背景要因・リーケージ・負の影響を周辺国等と調整する体制を構築することが求められる。

これらの課題を達成していくことで、REDD制度の現場での実行性は高まると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

世界的な森林減少・劣化の傾向の整理・分類をもとに、カンボジア・ラオスにおける森林減少・劣化の要因・発生プロセスを分析し、その分析結果に基づいてREDD制度が盛り込むべき重要な視点と取り組むべき課題を抽出した。

(2) 地球環境政策への貢献

REDD制度導入の視点から森林減少・劣化要因を分析し、森林減少・劣化の現状に即して、REDD制度が解決すべき政策的課題を提示した。また、本課題の分析結果は、サブテーマ(4)で提案するハイブリッド・インセンティブ・メカニズム(HIM)の検討の基礎情報として利用されており、本課題における作業は、将来、HIMを導入する主体に実施手順の一部を示すものとなっている。

6. 引用文献

- 1) Pact Cambodia [Internet site] Community Forestry Partnership Program. Available from: http://www.pactcambodia.org/Programs/Program_CFP.htm [Cited 27 April, 2009].
- 2) 井上恵介[Internet site]カンボジアの地図・白地図
(http://www.freemap.jp/asia/asia_cambodia_all.html) (2010年5月10日アクセス).
- 3) 井上恵介[Internet site]ラオスの地図・白地図
(http://www.freemap.jp/asia/asia_laos_all.html) (2010年5月10日アクセス).
- 4) 檜尾昌秀(1998)東南アジアの森、ゼスト.
- 5) Geist HJ, Lambin EF (2002) Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience* 52: 143-150.
- 6) UNFCCC (2006) Background paper for the workshop on reducing emissions from deforestation in developing countries.
- 7) World Rainforest Movement [Internet site] Causes of deforestation. Available from:

- <http://www.wrm.org.uy/> [Cited 18 May. 2008].
- 8) CIFOR (2007) Do trees grow on money? - The implications of deforestation research for policies to promote REDD.
 - 9) National Institute of Statistics (2008) General Population Census of Cambodia 2008.
 - 10) Ministry of Planning (2006) A Poverty Profile of Cambodia 2004.
 - 11) Ministry of Economic and Finance (2008) Annual Progress Report 2007.
 - 12) Forestry Administration (2008) Cambodia Forest Cover.
 - 13) Department of Forestry and Wildlife (2003) Cambodia: Forestry Statistics to 2002.
 - 14) Forestry Administration (2005; 2007) Cambodia: Forestry Statistics 2004; 2006.
 - 15) National Institute of Statistics (2001) Cambodia Statistical Yearbook 2000.
 - 16) FAO/RAP [Internet site] Sub-national Statistical Data, Cambodia, Regional Data Exchange System on Food and Agricultural Statistics in Asia and the Pacific. Available from: http://faorap-apcas.org/cambodia/busdirectory/search_results.asp [Cited 27 April. 2009].
 - 17) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2007) Agricultural Statistics 2006-2007.
 - 18) World Bank (2005) Assessment of Potential Impacts of "Social Land concessions" .
 - 19) 荒木康紀 (2006) カンボジア農林業の現状と課題、国際農林業協力、29(2): 44-51.
 - 20) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries [Internet site] The Information Center Regarding to the Economic Land Concession (ELC) in Cambodia. Available from: <http://www.elc.maff.gov.kh> [Cited 2 March. 2009] .
 - 21) 高久竜太郎、及川洋征 (2007) カンボジアにおけるプランテーションの現状と行方、国際農林業協力、30(1): 33-43.
 - 22) Global Witness [Internet site] forests, Cambodia. Available from: <http://www.globalwitness.org/pages/en/cambodia.html> [Cited 2 March. 2009] .
 - 23) 志間俊弘 (2006) カンボジアの違法伐採と土地問題、熱帯林業、65: 17-24.
 - 24) Global Witness (2007) Cambodia' s Family Trees - Illegal logging and the stripping of public assets by Cambodia' s elite.
 - 25) Department of Statistic, Lao PDR (2009) Statistical Year Book 2008.
 - 26) 鈴木基義 (2008) ラオスの産業構造と貿易構造の基礎。(ラオスの社会・経済基盤. 鈴木基義編、JICAラオス事務所): 57-88.
 - 27) Department of Forestry, Lao PDR (2005) Report of the assessment of forest cover and land use during 1992-2002.
 - 28) 名村隆行 (2006) 土地や森林を巡る問題、フォーラムMekong、8(1): 3-6.
 - 29) 古家直行 (2004) ラオスにおける土地・森林分配事業のその後、熱帯林業、60: 51-58.
 - 30) Ministry of Agriculture and Forestry, Lao PDR (2006) Agricultural Statistics 1976-2005.
 - 31) 社団法人全国木材組合連合会 (2007) 主要木材輸出国森林伐採関連法制度調査報告書、社団法人全国木材組合連合会.

- 32) 北村徳喜 (2008) ラオス森林セクターの現状と課題. (内陸国ラオスの現状と課題. 鈴木基義・山田紀彦編、JICAラオス事務所): 117-141.
- 33) EIA/Telapak (2008) Borderlines: Vietnam's booming furniture industry and timber smuggling in the Mekong region.
- 34) 鈴木伸二 (2008) アジアにおける木材需要の変化と違法伐採(アジアにおける非伝統的安全保障と地域協力. 東京財団政策研究部、東京財団): 36-46.
- 35) メコンウォッチ[Internet site]ラオスの開発問題
(<http://www.mekongwatch.org/env/laos/index.html>) (2009年10月22日アクセス).
- 36) 志間俊弘 (2005) カンボジアの森林・林業—その概要と最近の動き、国際協力機構 (JICA) .
- 37) Bottomley, Ruth (2000) Structural Analysis of Deforestation in Cambodia.
- 38) 吉田憲悟 (2001) カンボジアの森林の現状と課題、熱帯林業、50: 3-12.
- 39) ITTO (2004) Achieving the ITTO Objective 2000 and Sustainable Forest Management in the Kingdom of Cambodia.
- 40) Independent Forest Sector Review team (2004) Independent Forest Sector Review.
- 41) 増田美砂 (2009) インドにおける林地の画定と共同森林管理の実施を規定する要因、林業経済研究、55(1): 14-20.
- 42) IPCC (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.
- 43) ヘンリー・スケープンス、原田一宏、フェデリッコ・ロペス・カセーロ (2008) 第4章 途上国における「森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減」(REDD) —アジア太平洋地域の農村コミュニティにとってのリスクと好機—、アジア太平洋の未来戦略—気候政策と持続可能な開発の融合を目指して (IGES白書): 71-92.

7. 国際共同研究等の状況

森林総合研究所はカンボジア森林局およびラオス森林局・農林研究センターと共同研究の合意書をそれぞれ締結している。本課題の活動はそれらに基づくものである。当該国のREDDに関する情報(森林減少・劣化に関する法制度及びその要因)の収集、日本側プロジェクトメンバーと報告書の共同作成、共同ワークショップの運営など、今も共同研究を進めている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 横田康裕、カンパイ・マニボン、チャンサモン・フォンゴウドメ、百村帝彦、井上真: 関東森林研究、61 (2010) (印刷中)

「ラオスにおける森林減少・劣化要因」

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 横田康裕、百村帝彦、宮本基杖、井上真：2009年林業経済学会秋季大会 (2009)
「カンボジアにおける森林減少要因」
- 2) 百村帝彦、横田康裕、マニヴォン・カンパイ、フォンゴドム・チャンサモン、井上真：第
121回日本森林学会 (2010)
「ラオスにおける森林減少・劣化の要因」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

- 1) Mitsuo Matsumoto: UNFCCC REDD Workshop, Japan(2008) (ポスター発表)
“Research on the Feasibility to Estimate the GHG Emissions Reduction Through
Avoiding Deforestation”

B-072 森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究

(4) 既存枠組みとガバナンスをふまえた「森林減少の回避」制度の実行可能性の検討

東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

井上 真

〈研究協力機関〉 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学共同研究員 百村帝彦
 (財団法人・地球環境戦略研究機関・研究員)
 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程 向井周平

平成19～21年度合計予算額 3,900千円

(うち、平成21年度予算額 1,700千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本研究の目的は、ガバナンスの観点からREDD制度を検討し、実行可能な制度設計の方針を提案することである。まず、REDD制度を2つの評価基準に基づいて検討した。第1はトリプル・ベネフィットの観点である。CO2吸収のみならず、生物多様性保全および地域住民の貧困軽減といった側面の同時達成により、生物多様性条約や国連ミレニアム開発目標との整合性を確保できる。第2はレジティマシー（正当性／正統性）の観点である。レジティマシーは有効性（森林減少の回避可能性）と民主性（地域住民参加の促進可能性）によって確保される。有効性の面からは森林セクターだけを対象とする対策の限界が、民主性の面からは地域住民の権利を奪わない仕組みづくりの重要性が示された。これらの検討に基づき、基金と市場の組み合わせによる「ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム（HIM）」を提案した。基金メカニズムの骨子は、プログラムの事前評価に基づく活動資金の先行付与、および第三者団体による資金付与の監査、である。市場メカニズムの骨子は、炭素クレジットの取引量に上限を設けることと、政府に一定のクレジットを基金に売却する義務を課すことである。HIMの類型としては、政府がクレジットを獲得した後にインセンティブをプロジェクト関係者（個人、企業、コミュニティ）に付与しないタイプA、資金を事後付与するタイプB、クレジットを事後付与するタイプCという3タイプが考えられる。どのタイプも基金からプロジェクト関係者への資金の先行付与は必須である。このHIMをラオスのルアンパバーン県シェンゲン郡で適用するための準備作業として、既存のプログラムをトリプル・ベネフィット観点から事前評価し、プログラムの優先順位付けを試行した。最後に、REDD+用の新たなプログラムの導入や選定優先順位の高い既存プログラムのみを活用などの選択肢を示した。本研究の成果は今後の国際交渉の結果に関わらず応用可能であり、技術的・方法論的な決定事項と合わせて具体的に制度を検討し提案する基盤を築くことができた。

[キーワード] ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム、トリプル・ベネフィット、レジティマシー、ラオス、事前評価

1. はじめに

REDD制度に対しては当初から技術的・方法論的な課題のみならず、社会的・経済的な側面での

懸念も指摘されていた。第1は、地域住民による森林利用への取り締まりが強化される可能性である。これにより、1970年代後半から失敗を重ねながらも世界各地で試みられてきた住民参加型（および住民主体型）の森林管理が後退してしまう可能性がある。第2は、先進国のステークホルダーの参入可能性の不確実性である。温室効果ガスの排出削減の抜け道とならないような効率的な制度設計、および地域住民の権利を侵害しないような公正な制度設計が必須であるが、それにより京都議定書・第1約束期間における吸収源CDMのように、資金提供者にとって魅力的なインセンティブが設定できなくなる可能性もある。

2. 研究目的

温暖化緩和策としての森林減少回避の実行可能性を明らかにするため、社会的・経済的な懸念事項に着目し、それらを政策論的な課題として検討する作業を通して森林減少の削減に係わる新たな制度案を提示する。

3. 研究方法

（1）制度評価の基準：国際条約間の整合性

まずは、好ましいREDD+制度設計の前提となる条件の検討方法である。制度を評価するためには、評価基準（分析視角）を明示する必要がある。Schlamadingerら¹⁾は提案される様々なREDD制度に関して6つの評価基準を提示し比較検討した。しかし、評価基準が多いと分析が困難になるため、本研究ではより簡易でかつ既存の国際条約等と整合性がとれ、多くの利害関係者の合意を得やすい2つの分析視角を設定した（図4-1）。

第1は、トリプル・ベネフィットの視角である。森林減少の回避には、持続可能な森林管理に必要な諸要素（多面的機能）に配慮した対策が有効である。ましてやREDD+へと対象が拡張されたことにより、CO2排出削減という単独な目的のみを突出させるわけにはいかない。したがって、次の2側面も合わせて達成可能かどうか評価するのが合理的となる。

- ・ 生物多様性の保全:これは生物多様性条約との整合性を維持するために不可欠である
- ・ 地域住民の貧困軽減:これは国連ミレニアム開発目標との整合性を維持するために不可欠である。

なお、一般的に用いられる「コベネフィット」は、あくまでも温室効果ガスの排出削減に焦点があり、その副次的効果として得られるエネルギー効率改善や貧困・地域格差解消など他分野の好ましい効果を指している。本稿では、他分野における副次的効果ではなく、明確な3側面

分析(評価)視角	トリプルベネフィット		良いガバナンスのためのレジティマシー	
分析(評価)基準	生物多様性の保全	貧困削減	地域住民の参加	森林減少の回避
根拠	生物多様性条約との整合性	ミレニアム開発目標との整合性	レジティマシー条件「民主性」の確保	レジティマシー条件「有効性」の確保

図4-1 制度の評価基準

の効果をもつと同時に達成することに価値をおいているため、あえて「トリプル・ベネフィット」という用語を使用した。

第2は、レジティマシーの視角である。REDD+は途上国のガバナンス（ルールの設定・適用・執行のあり方）を改善し、政策のレジティマシー（正当性／正統性）を高める可能性を持つ。そして、このレジティマシーの確保²⁾は、ガバナンスの過程で多様な利害関係者の意見が反映されているかどうか（民主性）、およびガバナンスの結果が目的を達成しているかどうか（有効性）で決まる。したがって、REDD+を国家の森林政策として導入する際に、次の2側面に結びつくか否かという観点から評価することが重要となる。

- ・ 森林減少回避の実現：これによって有効性が満たされ（CO₂の排出削減がなされ）、レジティマシーが確保される。
- ・ 森林地域住民の参加：これによって民主性が満たされ、レジティマシーが確保される。

なお、国際林業研究センター³⁾は、諸制度の比較検討のための基準として、温暖化防止の観点からの有効性（effectiveness）、費用的な効率性（efficiency）、公平な（equity）成果、およびコベネフィットで構成される「3E+基準」を掲げている。しかし、本稿ではガバナンスのあり方を重視するため、公平な成果よりも過程での参加を重視する。また、評価が困難な費用の効率性は除外した。

（2）制度オプションの相対化の手法：国際交渉での合意可能性

上記の基準に基づく制度評価はあくまでも学問的な検討であり、国際交渉の実態を反映したものではない。そこで、実際のUNFCCCにおける国際交渉の枠組みを勘案したうえで、学問的な検討結果と統合する必要がある。

そこで、京都議定書・第1約束期間を含むUNFCCCの全体枠組みの中でREDD制度を位置づけるための枠組みとして、3行3列のマトリクス⁴⁾を修正し独自のマトリクスを作成した（図4-2）。横軸は、LULUCFと他セクターとの統合度合いを示す。セクター間のクレジット取引が可能で唯一の枠組みを設定する「連結」と、セクターごとのアプローチをとり複数枠組みが共存する「分離」が両極となる。縦軸は、コミットメントの類型を示す。温室効果ガスの「排出量を重視」し、数値目標を設定するするコミットメントと、排出・吸収の「原因を重視」し、政策評価をするコミットメントが両極となる。

		セクター間の統合度合い		
		連結 ←		→ 分離
排出量重視 ↑ コミットメント タイプ ↓ 原因重視	国全体／数値目標 ／市場メカニズム (クレジット)	部分的な連結／ セクター間クレジット 取引あり／市場メ カニズム	セクター別／数値 目標／セクター間ク レジット取引なし／ 市場メカニズム	
	国全体／数値目標 と政策評価(数値換 算)の組合せ		セクター別／数値 目標とプログラム評 価の組合せ	
	国全体／政策の評 価(数値換算しな い)／基金方式	部分的な連結／基 金方式	セクター別／プロ グラム評価(数値換 算しない)／基金方式	

出所：Benndorf (2007)の図1を基に井上作成

図4-2 制度オプションを示すマトリクス

（3）ラオスの政策評価

上記の分析結果に基づいて提案するインセンティブ分配方式を、ラオスのルアンパバーン県シ

エンゲン郡で適用するための準備作業として、既存のプログラムをトリプル・ベネフィット観点から評価した。まず、ラオスのREDDに関する動向を把握するため、ラオスにおけるREDDに関する文献を収集、レビューを行うとともに、関連するステークホルダー（利害関係者）からの聞き取りを行った。また本研究の対象村（ルアンパバーン県シェンゲン郡対象2か村）での、村落の土地・森林利用の変遷と森林減少・劣化の要因を明らかにするため、地域住民から土地・森林利用の移り変わりを聞き取りつつ、現地踏査を行った。さらに、森林減少・劣化に寄与する既存のプログラムをトリプル・ベネフィットの観点から評価するため、まず対象地域（ルアンパバーン県シェンゲン郡）で実施されている森林関連プログラムのレビューを行った。また地方森林関連局（県・郡）にて、森林関連プログラムの運用実態の把握を行った。具体的には、シェンゲン郡で見られる既存の森林プログラムを把握し、その類型化を試みた。その上で、それぞれのプログラムに対して森林減少・劣化、生物多様性については、東京大学の研究者が行うとともに、カウンターパート機関であるラオス農林業研究所（NAFRI）の研究者の協力を得た。

調査地は、ラオス政府のREDDに関する意向を考慮してルアンパバーン県の焼畑地域を選定した。ラオスには潜在森林（樹冠率20%未満）が600万haあり、この潜在森林の回復を、政府は森林戦略における目標の一つとして掲げている。そして、焼畑地域でのREDD+事業の実施は、森林減少・劣化への寄与が大きく、森林回復のポテンシャルが高いと考えられる。またルアンパバーン県を含むラオスの焼畑地域では、国際協力機構（JICA）におけるプロジェクト方式技術協力「ラオス森林減少抑制のための参加型土地・森林管理プロジェクト（Participatory Land and Forest Management Project for Reducing Deforestation in Lao P.D.R. /PA-REDD）」が2009年度から実施され、研究成果による相乗効果も期待ができる。

県内の調査地は、我々と共同で現地調査を実施したサブテーマ3の担当者と検討した結果、本研究のサブテーマ1が調査対象としているシェンゲン郡を選んだ。そして、郡内の調査対象村は、シェンゲン郡の森林農林事務所の意向を踏まえ、ターカチャン村とポンサヴァン村とした（図4-3）。



図4-3 ラオスの調査対象地(○で記載)

4. 結果・考察

(1) REDD+制度の条件

1990年代から国際機関、NGO、研究者たちは、「森林に関する政府間パネル（IPF）」や「森林に関する政府間フォーラム（IFF）」、それと関連して組織化されたNGOによる「森林減少の背景的原因の解明イニシアティブ」などの活動を通して、森林減少・劣化の直接的原因と背景的原因

を明らかにしてきた⁵⁾。それらの知見に基づいて上記の方法で制度のあり方を検討すると、次の結論が導き出される。

1) トリプル・ベネフィットの視角

第1に、Cap & trade の市場メカニズムでは炭素排出量ばかりが重視される。そのため、「生物多様性の保全」および「地域住民の貧困軽減」を同時に達成することは困難であろう。

第2に、排出量だけではなく排出原因にも着目し、森林を牧場に転換する補助金を削減するなど国家政策の転換を促すインセンティブを設定するのが望ましい。そのためには、事業に先立って資金が活用できる基金方式を導入する必要がある。その際、制度の複雑化を避けるため、市場メカニズム（自由なクレジット取引）と基金運用（トリプル・ベネフィットを実現するための方策）を別立てとする仕組みを考えることが肝要である。

第3に、国家が獲得する資金やクレジットを国家から適切に個人・企業・コミュニティに支払うためのメカニズムを導入するのが望ましい。たとえば、「環境サービスへの支払い（PES）」制度や第三者機関による監査制度などが考えられる。PESは「生態系サービスへの支払い」として生物多様性条約とも密接に関係し、UNEPによる「生態系と生物多様性の経済学」（TEEB: The economics of ecosystem and biodiversity）でも議論されている。そもそもREDD+はPESの一種として位置付けられる。したがって、気候変動枠組み条約と生物多様性条約の交差点に位置するREDD+の枠組みとしてPESの仕組みを検討する価値がある。

2) レジティマシーの視角

まず有効性に関しては、回避すべき森林減少・劣化には直接的原因と背景的原因が存在するという事実に基づいて検討することが重要である。背景的原因が森林に与える影響が大きいので、森林セクターだけを対象として対策を講じても森林減少を回避することはできない。したがって、LULUCFと他セクターを「連結」させる必要がある。

森林減少に関連する国家プログラムの例としては、次のようなものが考えられる⁶⁾。森林セクターでは森林火災防止および違法伐採の規制が、その他のLULUCFセクターでは土地保有の安全性改善、大規模土地開発への課税、農業の集約化が挙げられる。また、非LULUCFセクターでは、非農業部門での雇用促進、および森林が少ない地域での道路改良などである。これらにより農業集約化と労働需要の増加がもたらされ、森林地域への移住を減少させる効果が見込まれる。

また、森林減少回避のための努力を安易にカーボンオフセットとして活用することを避け（カーボンオフセット型投資は認めない）、他セクターでの緩和努力を維持させることが肝要である。そのためには、クレジット取引に関してLULUCF（土地利用・土地利用変化及び林業）で獲得するクレジットの取引割合に上限を設けるなどの取り決めが必要となる。

次に民主性については、多くの森林政策が地域住民の森林や土地への権利を奪う傾向をもっていったという事実を直視する必要がある。過去の教訓に学び、1980年代以来各地で試みられてきた地域住民の権利を奪わない仕組みづくりをいっそう促進することが重要である。そのため、第三者機関（NGOを含む）による監査制度の導入が有効となろう。また、保護地域の管理を含む全ての活動への地域住民・市民の参加を促進するためには、活動に先立って資金を先行付与することが不可欠である。なぜなら、資金不足が森林関連活動を活性化させるうえでの重要な制約要因とな

ってきたからである。そのためには、市場のみならず基金方式の導入が不可欠である。

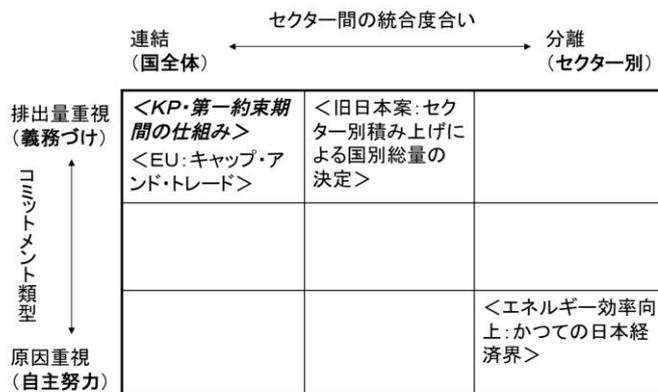
(2) UNFCCC枠組みにおけるREDD制度の位置づけ（相対化）

1) 全体枠組み諸提案の位置づけ

まずは、UNFCCC枠組のなかで京都議定書・第1約束期間の仕組み、およびポスト京都の全体枠組の諸提案を位置づける（図4-4）。

京都議定書・第1約束期間の仕組みは、国ベースで排出量の上限を義務づけているので、マトリクスの上左に位置づけられる。ポスト京都の全体枠組み提案では、国の排出削減目標を明言した鳩山内閣の政策、およびキャップ・アンド・トレード方式を主張しているEU提案も同様な位置づけである。

これらと対極にあるのが、2008年1月までの日本経団連など日本の経済界の主張である。これは、国ベースではなくてセクターごとの自主努力に基づき、途上国への技術協力によってエネルギー効率を向上させようという提案⁷⁾であった。そして、日本政府の提案は、福田首相による2008年1月のダボス会議での提案に基づき、セクターごとの積み上げによって国別総量を決定しようというものであり、上の中央に位置づけられる。



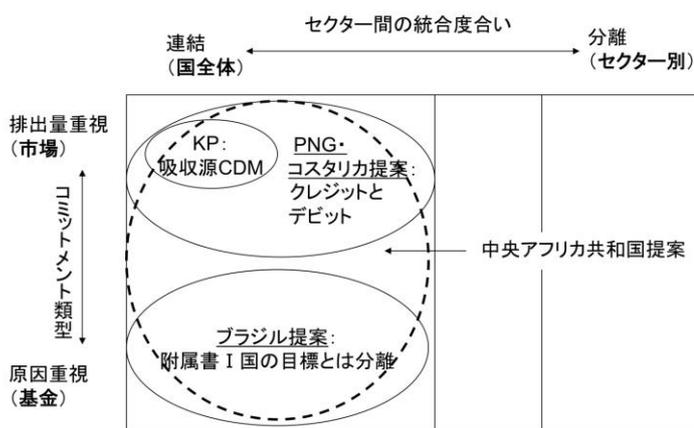
出所: 検討結果をもとに井上作成

図4-4 ポスト京都全体枠組み諸提案の位置づけ

2) REDDに関する諸提案の位置づけ

次に、森林セクターに限定して、京都議定書・第1約束期間の吸収源CDM、およびポスト京都のREDD諸提案を位置づける（図4-5）。京都議定書・第1約束期間の吸収源CDMでは、プロジェクトベースで獲得したクレジットをセクターに関係なく市場取引するので、左上に位置づけられる。

ポスト京都のREDD諸提案のうち、PNG・コスタリカは、マラケシュ合意で定められた有効期限付のクレジットの撤廃を提案した。これにより一般のクレジットと同様に将来的な約束期間にも繰り越すことができるバンキング制度（クレジットとデビット）を適用できるように



出所: 検討結果をもとに井上作成

図4-5 REDD制度諸提案の位置づけ

し、各国の早期取組みを奨励する仕組みを設けることを意図している。したがって、マトリクスでは左上に位置しながらも、吸収源CDMを拡張させた提案として位置づけられる。

これに対して、ブラジルはマトリクスの左下に位置する基金方式を提案した。これは、付属書I国の任意参加国が拠出金を負担する、途上国が排出削減の達成度に応じてそれを分配する、途上国は任意に参加する、途上国に将来の義務を発生させない、付属書I国の目標達成に算入しない、といった内容である。この背景には、地球温暖化の責任は先進国にあり、途上国の貢献はあくまで追加的措置であるという認識がある。

中央アフリカ共和国は、基本的にはPNG・コスタリカ提案を支持しつつも、基金方式の提案もしている。この提案はコンゴ流域で実際に行われている持続可能な森林管理を基準とした取組みを土台としているもので、コンゴ流域のアフリカ諸国から支持されている。この基金では森林管理交付金と気候政策交付金の2つの方式により資金が分配される。森林管理グラントでは、持続可能な森林経営面積に応じて配分され、気候政策グラントでは森林減少率に応じて配分される。この提案の特徴は森林面積の増減のみに着目し、面倒な炭素の計算を省略していることである。

3) 推奨されるREDD制度：合理性と合意可能性の統合

まずは、学問的な分析に基づく制度オプション（合理的な制度オプション）をこのマトリクスで位置付けてみる（図4-6）。トリプル・ベネフィットの観点からは排出量と原因の両方を視野に入れることが示唆されたので、制度オプションはマトリクスの真ん中の行に位置づけられる。制度のレジティマシーを確保する効率性の観点からは、連結と分離の組み合わせが示唆されたので、制度オプションはマトリクスの真ん中の列に位置づけられる。そして、民主性の観点からは、市場と基金の組み合わせが示唆されたので、制度オプションはマトリクスの真ん中の行に位置づけられる。

しかし、実際の国際交渉は各国の利害に基づくポリティクスのアリーナである。また、環境NGOと経済界の意見のギャップも大きい。そこで、これまでの努力の結晶でもある京都議定書・第1約束期間の吸収源

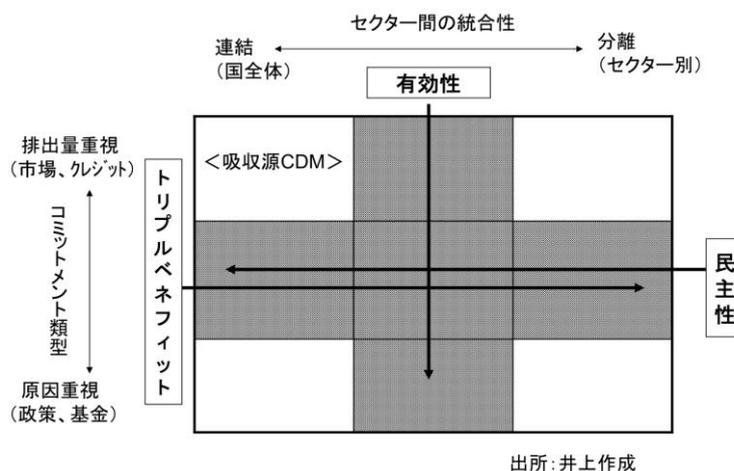


図4-6 検討結果に基づくオプション

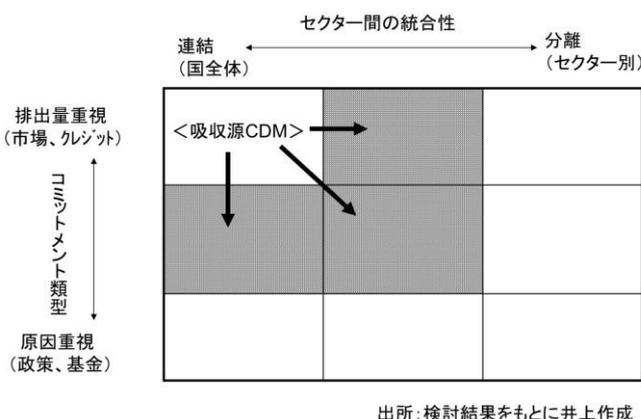
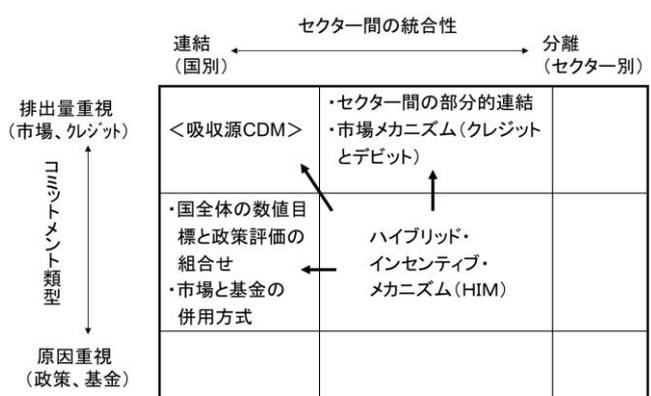


図4-7 推奨されるREDD制度の位置づけ：これまでの努力を重視するオプション（京都議定書の拡張）

CDM（マトリクスの左上）の拡張オプションの範囲（マトリクスの最下行と最右列を除く範囲）を暫定的な合意可能範囲とする対策を考えるのが現実的であろう（図4-7）。

実際に、2008年8月にアクラで開催された「第3回特別作業部会（AWG-LCA3）」において、基金メカニズムと市場メカニズムとを併用する（組み合わせる）ことを提案する声が相次いだ。例えば、①オーストラリアのHumane Society Internationalは、市場メカニズムに賛成しつつ、同時に市場と齟齬のない形で基金も必要と主張した。②インド政府は、市場アプローチを炭素市場がだぶつかないような制限をつけつつ、非市場アプローチとしてREDDによる炭素市場への課金による基金を提案した。③ノルウェー政府は、市場と基金の組み合わせでないと成功しないと訴え、柔軟なメカニズムの重要性を主張した。これらを受けて、議長サマリーに、今後の重要な検討課題3つのうちのひとつとして、市場と非市場（基金）の組み合わせが明言された。

となると、合理的かつ合意可能な制度はマトリクスの中央部分ということになる（図4-8）。この部分は「基金と市場との混合」と「セクター間の連結と分離の組み合わせ」が重なる場所である。今後の国際交渉が基金方式の排除の方向に動く場合（上向きの矢印）でも、LULUCFで獲得したクレジットの自由な取引が認められる方向に動く場合（左向きの矢印）でも、この中央部分の制度を考えておけばそれを微修正することによって対処可能である。



出所：井上作成

図4-8 合理性と合意可能性を満たす制度

（3）ハイブリッド・インセンティブ・メカニズムの提案

マトリクスの中央部分に位置づけられる制度のうち、インセンティブの分配制度をここでは「ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム」（HIM: Hybrid Incentive Mechanism）とし、上記の検討に基づいた提案を行う。

1) HIMの基本的コンセプト

基金メカニズムについては、まず公正に施策（プログラム）の事前評価を行い、その結果に基づいて活動開始前に資金を国内事業（プロジェクト）の関係者（個人、企業、コミュニティ）に付与する（＝先行付与）。施策評価の際には、REDDに貢献する他セクターの施策（プログラム）をも評価する。同時に、CO2排出削減の効果だけではなく、生物多様性および地域住民の貧困削減の観点から施策の効果を推計・評価する。最後に、政府から個人・企業・コミュニティへの支払い（先行付与）を、基金または基金が委託した第三者団体が監査する。

市場メカニズムについては、約束期間終了時にREDD+活動を国家レベルで評価し、その結果に基づいてまずは国家が炭素クレジットを獲得する。国家は、決められた最低限のクレジットを

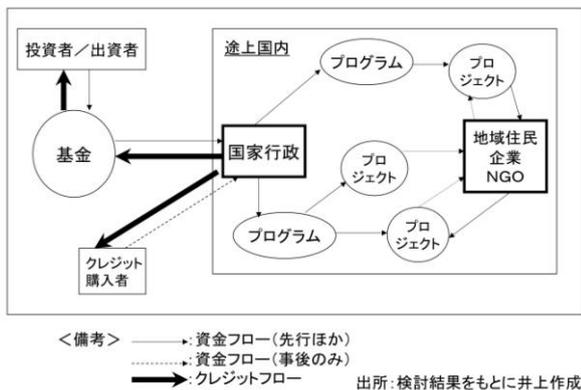


図4-9 ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム(HIM)タイプA

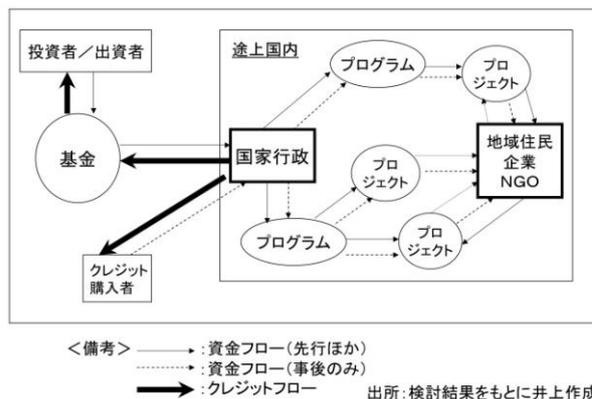


図4-10 ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム(HIM)タイプB

基金に還元（売却）する義務を果たすことを条件として、残余クレジットあるいは資金を他の主体と取引する（＝事後付与）。ただし、LULUCFで獲得したクレジットを取引量には上限を設けることが望ましい。たとえば、全クレジットに占めるLULUCFクレジットの上限割合の設定など。

これらの決まり以外は出来る限り自由度を高め、関係者の投資意欲を高める。

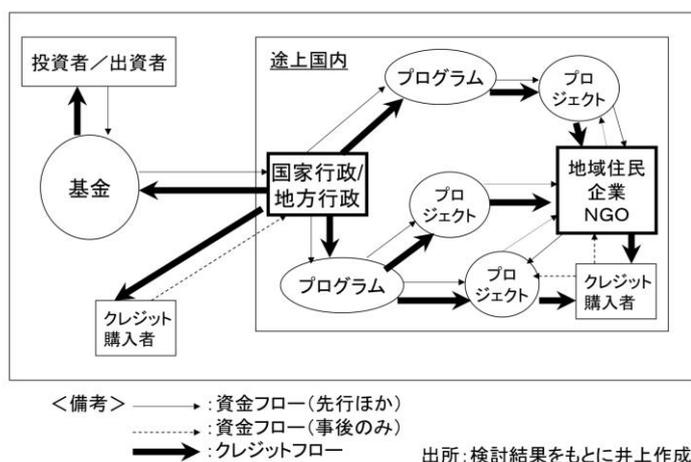
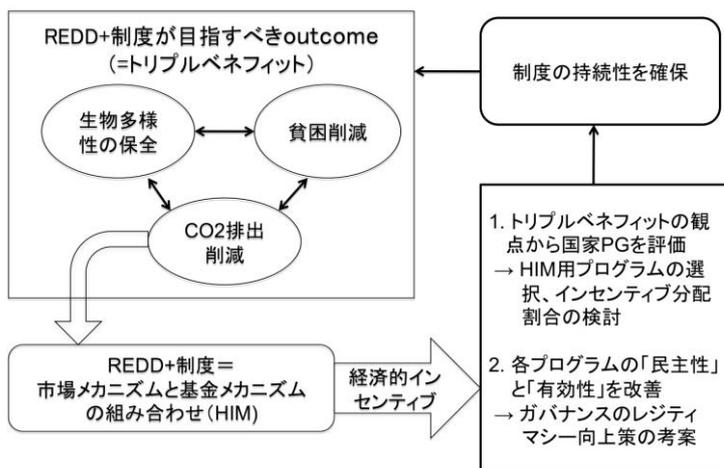


図4-11 ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム(HIM)タイプC

2) HIMのタイプ

政府がクレジットを獲得した後に、何らかの形でインセンティブをプロジェクト関係者（個人、企業、コミュニティ）に付与する（事後付与）か否かによって3タイプが想定できる。3タイプともに基金から資金の先行付与を受ける。

- ・ タイプA：事後付与なし（図4-9）。
- ・ タイプB：森林経営の成果に対して資金の事後不要を得る（図4-10）。これが持続可能な森林管理へのインセンティブとなる。



出所：井上作成

図4-12 REDD+制度設計のポイント

- ・ タイプC：クレジットの事後付与がある（図4-11）。プロジェクト関係者（ローカルステークホルダー）の裁量が最も大きい。このタイプでは、「基金」からの資金の「先行付与」のみならず、ローカルステークホルダーは「基金」からの資金の事後付与、およびクレジットの分配も受けることができる。

3) HIM制度設計上のポイント

HIMをREDD+として国内に導入する際の制度設計の要点を示した（図4-12）。ここでは、既存の政策で実施されてきている施策をHIM用プログラムとして選定するケースを想定している。

まずは、トリプル・ベネフィットの観点からプログラムを事前評価し、その結果を基にしてHIM用のプログラムを選択し、さらにインセンティブ分配割合を検討する。そのうえで、各プログラムの「民主性」と「有効性」を改善する方策を検討する、つまりREDDガバナンスのレジティマシー向上策を考案する。これにより、REDD制度の持続性が確保される。その結果、REDD制度が目指すべきアウトカムとしての「トリプル・ベネフィット」（＝CO2排出削減、生物多様性の保全、貧困削減）を同時達成する可能性が向上する。そして、その成果としてのクレジットをHIMの経済インセンティブとしてプログラムの改善へと投入する。以上のループによって新制度の導入が持続可能な森林管理の実現に貢献する。

HIMに基づく制度設計の成否は、国家の「政策」からそれを実現するための具体的な「プログラム（施策）」へ、そしてさらに現場で実施される「プロジェクト（事業）」へと、資金やクレジットを配分する仕組みの正当性と実効性にかかっている。その際、「政策→プログラム→プロジェクト」という階層性の整理は極めて重要である。ただし、国によってはドナーによる援助活動が重要な位置を占めており、それが政策・プログラム・プロジェクトのうちどのレベルに相当するのか不明な場合もある。その際、ドナーによる援助方針が特定セクターに関して国全体を視野に入れている場合にはプログラムに位置付け、特定の地域（現場）のみを視野に入れている場合にはプロジェクトとして位置付けるとよいであろう。そして、そのドナーによる援助が終了した後、REDD+資金を得て正式に国家のプログラムやプロジェクトとして継続するという前提で、HIMの制度設計を行えばよい。

（4）ラオスの政策動向と土地利用の変遷

上記のHIMをラオスのルアンパバーン県シェンゲン郡で適用するための準備作業として、既存のプログラムをトリプル・ベネフィット観点から評価するのに先立ち、まずはラオスの国レベルのREDDに関する動向を整理し、調査対象地の土地森林利用の変遷を概観する。

1) ラオスの国レベルREDDに関する動向

2007年末、COP13においてREDDの議論が盛んになり始めた頃から、ラオス政府はREDDが森林回復と貧困削減を同時に貢献する絶好の機会として捉え始め、さまざまな活動を援助機関の支援のもとで行ってきた。まずは、REDDの計画・運営を行うため、2008年に農林省林野局を中心としたREDDタスクフォースが設立された。このタスクフォースは、農林関連機関のみならず、法務省・水資源環境庁など、省庁横断的なメンバー構成のもとで議論を進める体制が取られている。農林省林野局がREDDのFocal Pointであり、このタスクフォースの事務局を務める。

REDDタスクフォースは、国レベルのREDD戦略策定に関して、現在以下の5点について検討を行っている。①REDD戦略の開発とその運営、②参照シナリオの開発、③MRV制度の設計とその実施、④REDD実施体制の開発、そして⑤環境・社会・経済影響評価とステークホルダー間協議である。このうち、JICAのプロジェクト方式技術協力の「ラオス森林戦略実施事業（FSIP）」では、ラオスにおける土地森林利用の変化やそのドライビングフォースに関する分析を衛星データや社会経済調査をもとに行い、9つの森林減少・劣化の要素を特定した。この成果は、REDDタスクフォースに提出され、REDD戦略策定のための方策として活用されることになっている。

ラオスにおいても、国レベルと準国（プロジェクトレベル）でのREDD事業が行われている。まず国レベルのREDD準備活動として特筆されるのは、世界銀行によるFCPF（森林炭素パートナーシップ基金）より準備基金の提供対象国として選定されたことである。この資金などをもとに国レベルのREDD戦略構築を予定している。2010年3月現在、R-PP（Readiness Preparation Proposal）を策定中である。また、国レベルの活動としてさまざまな援助機関による森林資源調査（SUFORD、JICAなど）や森林関連法制度の整備（SUFORD）がある。また準国レベルの実証活動として、GTZとKfWなどの支援による保護地域におけるREDDプロジェクトの実施を計画中である。また日本のJICAも、途上国の中でいち早くREDDに関するプロジェクト方式技術協力「ラオス森林減少抑制のための参加型土地・森林管理プロジェクト（Participatory Land and Forest Management Project for Reducing Deforestation in Lao P.D.R. / Pa-REDD）」を2009年8月から開始している。また援助機関のWCSによって、自主的炭素市場を扱うREDDプロジェクトがラオスの保護地域の2ヶ所（Nam Et、Nam Kading）において設計中である。

2009年のCOP15において、ラオス政府代表はREDDについて以下の声明を出した。「森林は温室効果ガスの緩和や気候変動の適応にとって重要であるばかりではなく、ラオスの人口の80パーセントを占める森林に依存して生計を立てている人々や村落社会のセーフティネットとしての役割がある」。この声明を見る限り、ラオス政府は森林を単に炭素による収入源と見なしているだけではないことが期待される。

現在のところ、ラオス政府は国レベルのREDD戦略を策定するまでには至っておらず、援助機関によるパイロットプロジェクトや技術支援協力の中間結果等をフィードバックし、REDD戦略をより明確に確立するための途上にあるといえる。

またラオス政府は、COP15においてREDD+を支持することを表明した。またREDDの実施規模としてNestedアプローチを支持しており、ローカルでの準国レベル（実質的にはプロジェクト）活動と、国レベルのREDD+の枠組構築と関連政策の整備とを入れ子状に実施するのがよいとしている。また具体的なREDDの実施では、3段階の段階的アプローチを取るべきであるとしている。第一段階は準備段階として、国レベルのREDD戦略開発、アクションプランや政策の整備、能力構築などである。第二段階を実証段階とし、政策・戦略の実施や、準国レベル（プロジェクトレベル）の活動を行うこととしている。そして第三段階を本格実施段階としている。

資金メカニズムとしては、基金方式と市場方式との混合方式がよく、それも柔軟性を持たせるべきであるとしている。準備段階においては、FCPFを含む援助機関の資金での実施がよいとしている。また同時に、プロジェクトレベルでの自主的市場での炭素取引も重要であるとしている。このラオス政府の声明では、REDD準備段階である現存の資金メカニズム（FCPFの基金方式やプロジェクトレベルでの自主的市場方式）について述べたに留まっている。将来のUNFCCCの枠組にお

いて、REDD実施における資金メカニズムの表明は、まだ行っていない。

2) 調査対象地における土地森林利用の変遷

調査対象地の1か村であるポンサバン村の土地森林利用の変遷を中心に検討を行う。ポンサバン村は、ルアンパバーンの中心から約30km南南西に離れたカム川沿いにある集落である。集落の住民構成はカム族（中地ラオ族）とラオスの主要民族であるラオ族（低地ラオ族）の2つの民族で構成される。住民の主な生業は、農作物（商品作物）耕作と水田耕作である。この村は1973年に設立された比較的新しい村である。ラオスは内戦中の1973年当時、カム川上流に位置していたポンサイ郡ソプチューン村とマクニュー村からこの地に移住してきた。ソプチューン村が3番村へ、マクニュー村が4番村へと主に移住した。革命後、これら2か村が行政上統合することでポンサバン村となった。しかし、現在でも地域住民・地方行政官の間では正式な村名よりも番号の振られた村名の方になじみがある。居住している民族は、元の村の構成と同じく3番村が主にカム族で、4番村が主にラオ族で構成されている。現在の世帯数は、カム族60、ラオ族16世帯である。

1973年の移住当時、この地域周辺に村落は存在していなかったが、周辺にあった古い村によって、この地域の平坦地は水田としてすでに占有されていた。カム族は焼畑を生業とする民族であり、彼らは主にカム川の両側にある山の斜面で焼畑によって生業を営んでいた。村の生業に大きな転換が訪れるのは、政府によって実施された1996年の土地森林分配事業である。土地森林分配事業によって畑抑止策が周知され、焼畑は原則禁止し常畑化するよう推進された。このため地域住民は、ラオス北部において前年（1995年）からさかんとなってきたチーク造林を焼畑地で進めていった。これ以降も、ローカル市場や国境貿易における需要に応じる形で、ジュズダマの樹木、バナナ、カジノキなどの栽培をし、そこから収入源を得ることで生計を維持してきた。焼畑を休止したことで、多くの世帯が商品作物を売ってコメを購入するようになった。チークやジュズダマなどは収穫までに時間がかかるため、適宜単年度作物をローカル市場の要求によって作付しながら対処してきた。2000年以降もさまざまな商品作物の導入が続き、市場価格の上下に敏感に反応し、作付する商品作物を変更している。近年ではゴム植林やTiger Grassの価格が上がっており、これらの作物の栽培が加速化している。

1996年以降、比較的耕作のしやすい300m（村落居住地）から600mまでの山の傾斜のほとんどが、商品作物の栽培地となった。これらの斜面はかつての焼畑地であり、この村での焼畑地のほとんどが商品作物地・チーク造林となったことがわかる。また600m以上の山間部では、目視・衛星画像からも焼畑地はほとんど確認されなかった。これは、この村の600m以上の傾斜地が、保護林に指定されているため、焼畑がほとんど行われていないためである。このため600-1200mの山間地は、ほとんどが二次林として放置されており、現状では森林伐採など森林減少・劣化に対する圧力はほとんどないと考えられる。

以上より、600-1200mの丘陵上部の二次林・天然性林は人為的な圧迫が起こる可能性は少なく、今後も森林として維持されていくと予想される。一方300-600mの丘陵下部では、焼畑地・焼畑休閑林といった潜在森林は消失してしまった。その上で商品作物・チーク造林など農林作物栽培を中心に営まれており、現時点では比較的安定した農業が行われていると見られる。しかしながら、地域住民はローカル市場や国境貿易の要求に応じて頻繁に農作物を変更しており、市場の大きな混乱等によっては農業生態系が大きく乱れる可能性もある。

1996年以降の焼畑地の商品作物地への転換を、森林減少・劣化の観点から如何にとらえるかは困難であるが、大筋以下のように整理できる。

- ① 商品作物の導入とその動員力となった土地森林分配事業によって、政府が森林減少の要因として見ていた焼畑地は減少した。新たな焼畑実施は禁止されており、焼畑拡張は抑えられたと考えられる。この側面では、森林減少を抑止したといえる。
- ② しかし、焼畑休閑地である二次林も同時に農林作物栽培地に転換しており、総体的には森林減少をおこした可能性もある。
- ③ ①、②も含めた森林減少・劣化についての総体的な評価は、より詳細な調査や衛星画像等での解析の必要がある。
- ④ 生物多様性の観点から見ると、焼畑地・焼畑休閑地が商品作物地へと転換しており、生物多様性の単純化が起こったのは確かであろう。
- ⑤ 地域住民の生計については、生計手段がコメ作中心の自給型から、商品農林作物の販売型へと大きく転換している。地域住民の聞き取りより、地域住民の生計全体に対する影響は比較的ポジティブなものであった。しかしながら、過去10年間に村を離れた世帯も見られ、個々の世帯に関する調査は行っておらず、より詳細な調査が必要となる。

(5) ラオスにおける政策の事前評価

2007年度の研究成果より課題4では、森林減少の回避（REDD実施）において、CO2排出削減という主目的を達成するだけでなく、地域住民の貧困削減（国連ミレニアム開発目標との整合性）や、生物多様性の保全（生物多様性条約との整合性）といったトリプル・ベネフィットの視点が有効であると結論付けた。同様の考察は、例えばREDDプロジェクトにおいて自主的炭素市場の導入のためのCCB基準（気候、地域社会、生物多様性）においても説かれている。また援助機関やNGOなどによってこのような声明・解説が出されることもある。本項では、調査対象としたルアンパバーン県シェンゲン郡において、森林減少・劣化に寄与するプログラムをトリプル・ベネフィットの観点から評価を行う。トリプル・ベネフィットの評価基準は、以下のように取り決めた。評価基準を簡略化したのは、REDDの評価を行う際に容易に行うことを考慮したためである。

- ① CO2排出削減：対象地域の森林の炭素量（バイオマス量とする）の増減。
- ② 貧困削減：森林周辺地域に居住する地域住民の生計（現金収入のみならず、非木材森林産物の確保なども含む）が維持・向上しているかどうか。ただし地域住民は、（土地森林利用権の多いもの・村での意思決定機構の中心にいる）有力者だけではなく、（土地森林利用権の少ないもの・村の意思決定から離れたところにいるもの）貧困層にも考慮する。
- ③ 生物多様性の保全：対象地域の森林の生物種の多様性の増減。

1) 調査地の概要

調査地であるシェンゲン郡は、その91%が山岳・丘陵地に分類され、山がちの地形である。このため、水田可耕地など平地はほんのわずかである。郡の人口は33,461人（2008年）、人口密度は20.7人/km²であるが、この地域はカム族・モン族など少数民族の割合が多く、人口の約8割を占めている。郡の村落数は、村落移住事業により、村落数は106か村(1995)から71か村（2008）へと

減少している。シェングン郡は、ルアンパバーン県中心部からも比較的アクセスが良く、1時間程度の距離である。商品作物の導入も進んでいることなどから、政府の貧困削減戦略による貧困対策の対象郡には分類されていない。

地域住民の生業は、かつては焼畑農業を中心とし、家畜飼育や非木材森林産物採取が中心であった。しかし近年では、商品作物栽培やそれに付随する賃労働が急激に多くなっている。しかしながら、富裕層の住民を除き、非木材森林産物の採取は、今も重要な食料供給源・収入源となっている。

2) シェングン郡における森林減少・劣化に関与するプログラムとそのグループ化

シェングン郡における森林減少・劣化に関与するプログラムを取り上げた。それによると5つの事業がリストアップされた。すなわち、①焼畑安定化政策、②土地森林分配事業、③食料確保・商品作物生産事業、④貧困削減事業そして⑤村落移住事業である。それぞれのプログラムが立案された時期を見ると、その政治的背景が読み取れる。これらは大きく3つに分けることが出来る。

まずは、1975年の革命以降、少数民族が多く居住した農村地域を実質的に統治するため、住民に対する行政サービスの提供と土地森林の利用の安定化を、村落移住事業と焼畑安定化政策で行っている。これらは1980年代から実施されている。次に土地森林分配事業である。この政策は、これまで十分な効果が見られなかった焼畑抑止の効力を持たせるために導入されたものである。最後に、食糧確保・商品作物生産事業と貧困削減事業である。これらは、2005年にラオスが貧困削減戦略を策定したことによって、農業開発とともに貧困削減策の双方を実現させるために取られた措置である。

評価を行うに当たって、対象プログラムのグループ化を行った。これは対象地域で実施されるプログラムが、実質的には他のプログラムの一環として行われていると明らかに見なされるものがあるためである。このような類似のプログラムの影響を検討し、個々に評価を行うことには、困難が付きまとう。このグループ化によって、5つのプログラムを以下の3つのグループとした。

まず、焼畑安定化政策と土地森林分配事業である。焼畑を抑止し固定農地への転換を促進する焼畑安定化政策は1980年代から実施されているが、この政策がシェングン郡で実質的に機能したのは土地森林分配事業においてである。次に食料確保・商品作物生産事業と貧困削減事業である。双方とも貧困削減戦略のもとで実施されている。また貧困削減事業は、シェングン郡では主要な事業とはなりえず、食料確保・商品作物生産事業の一環として実施されているとみなされる。そして、村落移住事業である。これは他のプログラムと事業内容が異なる。以下に各プログラムの概要とその評価を行う。

表4-1 評価試案
(焼畑安定化政策、土地森林分配事業含む)

評価項目	
森林減少・劣化	×(商品作物の導入のため焼畑休閑林が減少)
生物多様性	×(商品作物の導入のため焼畑休閑林が減少)
地域住民の生計	○

出所:百村作成

※:「地域住民の生計」と「森林減少の抑止」については、詳細なデータを用いて検討する必要がある。

a 焼畑安定化政策、(土地森林分配事業を含む)

焼畑地を固定農地に転換するために実施された政策である。上述の通り、シェングン郡においては実質的に土地森林分配事業によって焼畑面積は大幅減

少した。シェングングン郡農林事務所の資料によると、1994年に5,630haあったものが、2008年には1,400haにまで減少していることになる。大幅に減少しているとはいえ、村落によっては、丘陵上部などにおいて、焼畑を継続しているところもある。ターカチャン村では、焼畑を継続していることが確認できた。またこの事業は、焼畑を抑止した後で、商品作物栽培地化を図るため、食料確保・商品作物生産事業と貧困削減事業とも関連が強い。

これらのプログラムでは、「森林減少・劣化」の項目ともに負の影響があるとした（表4-1）。これは政策によって焼畑そのものはなくなるが、それと同時に商品作物の導入のために二次林である焼畑休閑林も焼失してしまうこととなり、結果的に森林面積が減少してしまうからである。

「生物多様性」の項目においても、商品作物が導入されることによって種の多様性は大幅に減退してしまう。一方、地域住民の生計については、市場の状況によって地域住民自らが導入商品作物を臨機応変に変更させるなど、その導入を成功させたと見られる。

b 食料確保・商品作物生産事業（貧困削減事業を含む）

商品作物生産事業は、さまざまな商品作物の導入を促進する形で実施された。一方、食糧確保事業は、水田生産拡大のための技術支援として、水路の整備が行われた。商品作物の導入については、中国や仲買人の買い取りの急増によって、商品作物の導入が急激に増大している。しかし、これら導入は事業として実施されているというよりも、市場の動きによって取り組まれたものといえる。また、商品作物栽培地として、休閑林・焼畑地があてられている。

まずこの中で、食糧確保事業は、上述の焼畑安定化政策・土地森林分配事業と類似の評価となる（表4-2）。「森林減少・劣化」の項目では、商品作物の導入のために二次林である焼畑休閑林も焼失してしまうこととなり、結果的に森林面積が減少してしまう。「生物多様性」の項目においても、商品作物が導入されることによって、種の多様性は大幅に減退してしまう。一方、地域住民の生計については、市場の状況によって地域住民自らが導入商品作物を臨機応変に変更させるなど、その導入を成功させたと見られる。

一方、商品作物生産事業については、ここでは水田拡張のための水路の整備がそれに当たる。そのため、事業実施によってコメ収穫量が増えることとなり、間接的に森林への圧迫が減少する

表4-2 評価試算(食糧確保事業)

評価項目	
森林減少・劣化	×(焼畑休閑林が商品作物栽培地となる)
生物多様性	×(焼畑休閑林が商品作物栽培地となる)
地域住民の生計	○(ただし、世帯間の収入の格差が広がる可能性)

出所:百村作成

※:ただし「地域住民の生計」については、より詳細なデータを用いて検討する必要がある。

表4-3 評価試算(商品作物生産事業)

評価項目	
森林減少・劣化	○
生物多様性	○
地域住民の生計	○

出所:百村作成

※:ただし「地域住民の生計」については、より詳細なデータを用いて検討する必要がある。

と見られる。このため、各項目とも正の評価となる（表4-3）。ただし「地域住民の生計」については、この地域での水田所有者の多くが裕福層になるため、この事業でのメリットを受け取るのも彼らに限定される。

c 村落移住事業

村落移住事業は、主要道路から遠隔地（山地など）にある少数民族の村落を、道路周辺に移住させることで、行政の公共サービスを充実させるとともに、彼らを政府の管理下に置くことが狙いである。このため、対象は、山岳少数民族となる。シェンゲン郡の事例では、過去14年で村落数が106から71に減少している。ただし、移住元に出作り小屋など生計の拠点を残している場合もあり、ターカチャン村には、丘陵上部に出作り小屋がある。

この村落移住事業において、影響を与える森林は移住元である旧村落周辺と、移住先である新村落周辺の2ヶ所となり、それぞれ分けて評価を行う（表4-4）。移住元では森林資源の利用が減少するため、「地域住民の生計」を除く全ての項目で正の影響が、移住先では他の村と競争することとなると考えられ全ての項目で負の影響があると見られる。

表4-4 評価試算(村落移住事業)

評価項目		
森林減少・劣化	移住先	×（森林資源の競合）
	旧村落	○（森林への圧迫減少）
生物多様性	移住先	×（森林資源の競合）
	旧村落	○（森林への圧迫減少）
地域住民の生計	移住先	×（資源の競合を生み、生計に悪影響）
	旧村落	—

出所：百村作成

3) シェンゲン郡における政策の事前評価結果

以上のプログラムの評価結果を整理する（表4-5）。まずは、①から⑤までの5つのプログラムのそれぞれが、トリプル・ベネフィット

表4-5 プログラムの事前評価の結果(シェンゲン郡)

（「CO2排出削減＝森林減少・劣化の抑止」、「生物多様性の保全」、「貧困削減＝地域住民の生計」）の観点から、正の影響（○）を与えるのか、負の影響（×）を与えるのか予測した。これは、影響の強さではなくて、影響の方向性（正か負か）を示す。なお、※印の項目については、とりあえず評価してみたが、これまでの委

	森林減少・劣化の抑止	生物多様性の保全	地域住民の生計	シェンゲン郡への影響	村落レベルでの影響
①畑安定化政策 ②土地森林分配事業	×※	×	○※	◎	➤ 焼畑地・休閑林での商品作物・永年作物導入が促進 ➤ 森林減少抑止・住民への生計の影響は、要検討(※印)
③食料確保・商品作物生産事業、 ④貧困削減事業	○	○	○ (但し富裕層のみ)	△	➤ 水田開発により、富裕層による森林依存の減少
	×	×	○※	◎	➤ 商品作物導入による焼畑・休閑林減少。 ➤ 住民の生計への影響は要検(※印)
⑤村落移住事業	×(移住先) ○(旧村落)	×(移住先) ○(旧村落)	×(移住先) —(旧村落)	○	➤ 移住村のみ影響。

出所：百村作成

託調査では不十分であるため今後の検討が必要である。その右の欄は、それぞれのプログラムによる影響の強さを示している。すなわち、強大である（◎）、そこそこである（○）、あまり影響はない（△）、の3段階である。

その結果、シェングン郡で最も影響の大きなプログラムは、土地森林分配事業・焼畑安定化政策と・商品作物生産事業だといえる。これらの特徴は、「森林減少・劣化の抑止」と「生物多様性の保全」には負の影響が大きい、地域住民の生計に関しては正の影響があるとしている。基本的に、焼畑地・焼畑休閑地などの二次林を減少させ、森林面積・生物多様性が減退することからこの評価となる。食糧確保事業は、全ての項目で正の影響があるとされるが、その影響が限定的でもある。

以上、トリプル・ベネフィットの評価を試みたが、REDD事業の評価を実施する場合、3つのベネフィット全てについて、最低ラインを満たすように設定することが必要である。そのうえで、弱い点を強化したり、負の影響を抑止するような政策を導入することが望まれるであろう。そして、それぞれのベネフィットについて、必須事項を明確にする必要がある。ただし、評価方法はシンプルな方が実現可能性は高くなり、複雑化しないことも重要な要件である（逆にFSC認証のような強固さがなく、評価制度の信頼性は下がるが）。

また、現場のリアリティを考慮すると、プログラムを個別に分離して評価することは困難があり、村落への具体的なインパクトの予測を検討する方が現実的となるかもしれない。これらは今後の課題となる。

（6）インセンティブ分配のためのプログラム優先順位付けの試行

HIM導入に際してまずやるべきトリプル・ベネフィットの観点からのプログラム事前評価は、すでに述べたようにでき

るだけ簡易なやり方を適用する必要がある。複数の専門家によるワーキンググループが短期間で実施するのが好ましい。

この政策評価結果に基づき、プログラムの優先順位をつけることを試みる。まず、3側面の評価結果のうち、「○」に「+5点」、「×」に「-4点」を与えて合計点を求める。次に、現地での影響の強さについて、「◎」に「3点」、「○」に「2点」、「△」に「1点」を与える。そして、それを掛け合わせて総合点を得る（表4-6）。

表4-6 プログラムの優先順位付けの例

	評価結果(3側面)の合計点 (○:+5, ×:-4) <A>	現地での影響の強さ/重要度(◎:3, ○:2, △:1) 	総合点 <A x B>	優先順位
①焼畑安定化プログラム ②土地森林分配プログラム	- 3 (要検討項目は2つ)	3	- 9	4
③食料確保・商品作物生産プログラム、④貧困削減プログラム	食糧確保 + 15	1	+ 15	1
	商品作物 - 3 (要検討項目は1つ)	3	- 9	3
⑤村落移住プログラム	- 2	2	- 4	2

出所:井上作成

* インセンティブ分配率の決定は優先順位(1-4位)に基づく政策判断でおこなう。

そして、総合点の高い順にインセンティブ分配の優先順位を付けるのである。つまり、トリプル・ベネフィットに対して「正」の「強」い影響を与えるプログラムほど優先順位が高くなっている。ただし、総合点と同じ場合には、「要検討項目」の数が少ない方の優先順位を上げるのが妥当であろう。

この優先順位に基づいてREDD+プログラムを選択する方法は次の3つが考えられる。

- ① 事前評価により高い優先順位がついたプログラムだけREDD+用プログラムとして選択する。
この場合、選択されなかったプログラムにはREDD+導入のメリットはない。
- ② 高い優先順位のついたプログラムの他にREDD+用の新しいプログラムを導入する。この場合、新しいプログラムへのインセンティブ分配を最も高くし、他へは優先順位に応じて分配することになる。
- ③ 現存するすべてのプログラムをREDD+用プログラムとして採用し、優先順位に応じたインセンティブを分配する。

(6) 今後の留意点

そのうえで、レジティマシーを確保するための制度構築によって、REDD+制度（特にHIM）の良いガバナンスを実現することが重要となる。そのために為すべきことは、REDD+プログラムとして選択されるプログラムの実施にあたり民主性と有効性を高める改善策の提案である。つまり、森林政策としてやるべきことはこれまでの政策改善努力の継続である。新規の政策課題は、REDD+用の特別プログラムを導入することの是非を判断することだけである。REDD+は、気候変動枠組み条約と生物多様性条約とが交差する課題である。気候変動対策として一気に森林の重要性が注目されるようになったが、資金やクレジットの獲得に熱中しすぎることは慎みたい。安易にREDD+用の特別プログラムを提案する前に、REDD+を活用して既存政策の有効性を高めるための方策を早急に検討する方が、より有効な実効性の高い政策提案につながる可能性があることも留意すべきであろう。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

REDD制度について、様々な評価基準を明示して分析したことにより、説得力のある制度分析を行うことができた。また、REDD事業を前提としたプログラムの事前評価を試行したことは、今後のREDD制度構築に向けた政策研究の一助となる。

(2) 地球環境政策への貢献

国際交渉がどのように展開するのか予測しにくい状況において、REDD制度の落としどころを想定し、それが国家政策に導入される際のインセンティブメカニズムを「ハイブリッド・インセンティブ・メカニズム (HIM)」として提示した。これにより、技術的・方法的課題と合わせて具体的に制度を検討し、提案する基盤を築くことができた。

ラオス政府のREDDの資金メカニズムに関するポジションが、基金・市場の混合方式とされているが、具体的な方策についてはまだ十分検討されていない。HIMが具体化した場合、この方式をもとにラオス政府が検討を行う可能性がある。

6. 引用文献

- 1) Schlamadinger, B. et al. (2007) Options for including land use in a climate agreement post-2012: improving the Kyoto Protocol approach. *Environmental Science and Policy* 10, pp. 295-305.
- 2) Kjaer, A.M. (2004) *Governance*. Polity Press, Cambridge, UK
- 3) Angelsen, A. (Ed). (2009) *Realising REDD+: National strategy and policy options*. Center for International Forestry Research (CIFOR)
- 4) Benndorf, R. et al. (2007) Including land use, land-use change, and forestry in future climate change, agreements: thinking outside the box. *Environmental Science and Policy* 10, pp. 283-294.
- 5) 山根正伸 (2003) 「森林減少の背景要因に関するNGOイニシアチブ：NGOによる原因構造の分析」、井上真 (編著) / IGES (監修) 『アジアにおける森林の消失と保全』中央法規.
- 6) Chomitz, K.M. (2007) *At loggerheads?: Agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests*. The World Bank.
- 7) 杉山大志 (編) (2007) 『これが正しい温暖化対策』エネルギーフォーラム

7. 国際共同研究等の状況

(1) ラオス

国立農林研究所 (NAFRI) において、当該国のREDDに関する情報 (森林減少・劣化に関する法制度及びその要因) の収集および報告書案起草、日本側プロジェクトメンバーと報告書の共同作成、共同ワークショップの運営など、共同研究を進めた。

(2) カンボジア

農林水産省森林局において、森林総合研究所とのMOUに基づき、REDDに関する情報 (森林減少・劣化に関する法制度及びその要因) の収集および報告書案起草、日本側プロジェクトメンバーと報告書の共同作成、共同ワークショップの運営など、共同研究を進めた。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) 百村帝彦：環境情報科学論文集 23、 pp499-504 (2009)

「カンボジアにおける REDD パイロットプロジェクトにおけるコ・ベネフィットの実効性の検討」

- 2) 横田康裕、カンパイ・マニボン、チャンサモン・フォンゴウドメ、百村帝彦、井上真：関東森林研究 61 (2010)

「ラオスにおける森林減少・劣化要因」 (印刷中)

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 百村帝彦：生物多様性・生態系と経済の基礎知識- わかりやすい生物多様性に関わる経済・

ビジネスの新しい動き（林希一郎編）、中央法規、pp245-268（2009）

「生物多様性と温暖化－森林保全策としての森林認証とREDD」

- 2) 百村帝彦：熱帯アジアの人びとと森林管理制度－現場からのガバナンス論（市川昌広・生方史数・内藤大輔共編）、人文書院、pp. 206～221（2010）

「REDD実施が村落に果たす役割と課題：カンボジアの事例より」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) グローバルネット、211、pp. 31-33（2008）

「REDD導入による村落共同体への影響（百村帝彦）」

- 2) 地球環境戦略研究機関（編）：2008年アジアの環境重大ニュース、pp. 6-7（2009）

「REDDを巡るパイロットプロジェクトの動き（百村帝彦）」

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 井上真、向井周平、横田康裕、松本光朗：第119回日本森林学会大会（2008）

「森林減少によるCO2排出削減(REDD)制度の検討」（日本森林学会大会発表データベース、Vol. 119、p. 201に掲載）

- 2) 百村帝彦：日本熱帯農業学会第105回講演会（2009）

「カンボジアにおけるREDDパイロットプロジェクトの現状と課題－コミュニティ林業によるカーボン・オフセットプロジェクトの事例－」

- 3) 百村帝彦・西宮洋：環境経済政策学会（2009）

「REDDと生態系サービス：REDDパイロットプロジェクトにおけるコ・ベネフィットの検討」

- 4) 横田康裕・百村帝彦・宮本基杖・井上真：林業経済学会（2009）

「カンボジアにおける森林減少要因」

- 5) 横田康裕・カンパイ マニボン・チャンサモン フォンゴウドメ・百村帝彦・井上真：第61回日本森林学会関東支部大会（2009）

「ラオスにおける森林減少・劣化要因」

- 6) 百村帝彦：第23回環境研究発表会（2009）

「カンボジアにおけるREDDパイロットプロジェクトにおけるコ・ベネフィットの実効性の検討」

- 7) 百村帝彦・横田康裕・カンパイ マニボン・チャンサモン フォンゴウドメ・井上真：第121回日本森林学会大会（2010）

「ラオスにおける森林減少・劣化の要因－焼畑地域における森林関連政策・プログラムのコ・ベネフィットの評価」

- 8) 矢ヶ崎朋樹・百村帝彦・LATTANAVONGKOT Bounchanh：日本環境教育学会第21回大会（2010）

「ラオスにおける村落住民協働による植生調査の実践－生物多様性をめぐる知恵・技術の実態把握に向けて－」（要旨提出済）

- 9) 百村帝彦：第20回日本熱帯生態学会大会（2010）

「コミュニティフォレストリー設置経緯とREDD事業へのインプリケーション－カンボジ

ア・オッドーミエンチェイ州の事例」(要旨提出済)

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

- 1) “Proposal of feasible incentive mechanisms under the REDD policy and program”, DOF-NAFRI-FFPRI collaborative research project “Changes of Forest Cover and Biomass in Lao PDR”(2009年11月3日、ラオスの首都ビエンチャンにて、参加者30名):ラオス農林省林野局および援助機関などREDDに関連するステークホルダーを招聘した。なお、この会議はサブテーマ3の担当者と共同で実施した。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHKラジオ第一放送(2009年4月21日、「私も一言! 夕方ニュース」にて、REDD関連の森林と気候について百村帝彦氏が15分ほど紹介)

(6) その他

なし