

独立行政法人国際協力機構

ベトナム国農業農村開発省森林総局

ファイナルレポート（和文要約）

ベトナム国気候変動対策の森林分野における潜在的適地選定調査



2012年3月

社団法人海外林業コンサルティング協会

一般社団法人日本森林技術協会

## 目次

1	調査の枠組み	1
1.1	調査の目的	1
1.2	調査の主要活動	1
1.3	RELS/RLs の方法論のコンセプト	1
1.3.1	RELS/RLs の定義	1
1.3.2	インテリム RELs/RLs 開発の方法論	2
2	「活動データ」(AD) としての森林地図の作成	3
3	「排出係数」(EF) としての森林蓄積及びバイオマスデータの開発	9
4	国レベルの RELs/RLs の設定	13
4.1	インテリム RELs/RLs の計算方法 (SCM と FCMM)	13
4.2	炭素動態を把握するための集計単位	15
4.3	過去の森林変化の時点数	16
4.4	将来予測モデル	16
4.5	インテリム RELs/RL を構築する方法の提案	17
5	REDD 開発に向けた他データの検証	19
5.1	MODIS による森林動態の把握	19
5.2	活動データとしての統計データと NFI データの活用の可能性	23
6	全国レベルでの主題図の作成	26
7	植林 CDM 及び REDD+ のコスト・ベネフィット分析	27
7.1	潜在的植林 CDM プロジェクトのコスト・ベネフィット分析	27
7.2	REDD の利益・費用分析	30
7.2.1	利益の試算	30
7.2.2	費用の試算	31
7.2.3	利益・費用の分析	33
8	モデルランド調査	34
8.1	背景と目的	34
8.2	調査の内容	34
8.3	調査方法	34
8.4	結論と提言	35
9	ディエンビエン省での REDD+ 開発に向けた基本計画の作成	37
9.1	策定の方法論	37
9.2	ディエンビエン省での REDD+ 開発のための基本計画	38
10	ディエンビエン省での森林炭素量の推定のための方法論の開発	39
11	潜在的投資者に対する情報提供	42
11.1	アンケート調査の結果	42
11.2	ホームページのコンテンツ	44
11.3	REDD+ 実施に向けたセミナー等	45

## 表の一覧

表 3.1	計測対象とする炭素蓄積.....	9
表 3.2	熱帯湿潤地域の BCEF (FAO) .....	10
表 3.3	サイクル 1 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EF (CO <sub>2</sub> t/ha) .....	11
表 3.4	サイクル 2 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EFs(CO <sub>2</sub> t/ha).....	11
表 3.5	サイクル 3 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EF (CO <sub>2</sub> t/ha) .....	12
表 3.6	サイクル 4 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EFs (CO <sub>2</sub> t/ha).....	12
表 4.1	RELS/RLs 構築における検討オプション .....	13
表 4.2	吸収量・排出量別の将来予測モデルの特性 .....	16
表 4.3	RELS/RLs 構築における検討オプションの特徴 .....	18
表 5.1	アクティビティーデータの地域別・面積比較 (常緑林) (単位: 1000ha) .....	24
表 7.1	15 年サイクルでの木材販売による 1ha あたりの収益の試算.....	28
表 7.2	アカシア ( <i>Acacia auriculiformis</i> ) 植林地における 1ha あたり経年炭素固定量.....	28

## 図の一覧

図 2.1	AD 整備の作業フロー	4
図 2.2	森林分布図 (2010 年, 2005 年)	5
図 2.3	森林分布図 (2000 年, 1995 年, 1990 年)	5
図 2.4	1990 年以降の森林タイプ別面積の動態 (全国集計値, 単位; 1,000 ha)	6
図 2.5	検証 1 のプロセス	7
図 2.6	検証 2 and 3 のプロセス	7
図 4.1	1990 年以降の森林分野におけるストックチェンジ (ベトナム全土)	15
図 4.2	1990 年以降の森林分野における吸・排出量 (ベトナム全土)	15
図 5.1	MODIS による森林情報作成処理手順の概略	20
図 5.2	森林変化の例: 2007 年に天然林からサトウキビ畑に変化	21
図 5.3	MODIS による国境付近の森林減少解析の例	22
図 5.4	アクティビティーデータの面積比較 (常緑林)	25
図 5.5	統計値等からの推計面積 (常緑林)	25
図 5.6	森林分布図からの面積 (常緑林)	25
図 6.1	A/R CDM 適地選定図	26
図 6.2	森林変化図 (森林減少)	26
図 11.1	ホームページの構成	45

## 1 調査の枠組み

### 1.1 調査の目的

本調査では、気候変動緩和に関する国際的な取り組みに貢献することを目指し、潜在的な A/R CDM プロジェクト適地および森林減少・劣化に由来する炭素排出削減を図るべき森林を特定すると共に、非京都の枠組みへのベトナムとしての取り組みの可能性を検証することを目的とする。

### 1.2 調査の主要活動

本調査の主要な調査活動は以下の 7 に集約される。

- ① **地図情報の整備**：1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年の 5 時点の森林分図を整備し、AR-CDM、REDD 等の潜在的適地の分布を、衛星画像解析及び森林蓄積資源データから層化・分類し、ベトナム国全体をカバーする地図（GIS Map）に表示する。
- ② **森林資源調査（NFI）のデータの整備と検証**：NFI のサイクルデータ等を活用して、排出係数（エミッション・ファクター）を開発する。また、約 400 点のサブプロットでの現地調査の実施を通じて、QA/QC の考え方を組み込みつつ、NFI のサイクル 4 データの検証を実施する。
- ③ **REDD の参照レベル／参照排出レベルの設定と AR-CDM 及び REDD のコスト及び便益の推計**：REDD に関して、森林のバイオマスの減少量の過去のトレンドに基づき、参照レベル／参照排出レベルを試算する。また、コストと便益の推計を、AR-CDM 事業と REDD 事業に分けて行う。
- ④ **モデルランド調査**：AR-CDM、REDD 等の森林分野での気候変動緩和事業をタイプ分けして、いくつかのタイプをモデルランドとして選定し、そのモデルランドで事業を実施したと仮定してその事業費用と炭素吸収による便益を試算するケース・スタディを実施する。
- ⑤ **ディエンビエン省での REDD 開発のための基本計画の策定**：基本計画は、ディエンビエン省での REDD+メカニズムの開発に寄与するとともに、REDD+実施の実現に向けて REDD+パイロット活動の開発のプロセスを明確化するために策定される。同計画は、将来的に策定される省 REDD+プログラムの開発に寄与する準備段階のものとして策定される。
- ⑥ **森林炭素量の推定方法の開発**：ディエンビエン省の天然常緑広葉樹林のバイオマス変換拡大係数（BCEF）を、バイオマス調査に基づき開発する。
- ⑦ **潜在的投資者への情報提供**：REDD や炭素蓄積促進事業への潜在的投資者に対するアンケート調査を実施し、企業等の投資活動を促進するような情報を提供する。

### 1.3 RELs/RLs の方法論のコンセプト

#### 1.3.1 RELs/RLs の定義

REDD+メカニズムに参画する途上国は RELs/RLs に基づき将来の森林由来の吸収・排出量を予測

し、これと比較したモニタリングの結果、便益を得ることとなる。つまり、REDD+メカニズムでは RELs/RLs の開発が重要な要素である。一方、RELs/RLs の設定如何によっては、容易に吸収量や排出削減量が生み出される結果となるため、可能な限り不確実性が低く、透明かつ頑健な方法を採用することが求められる。

RELs/RLs の定義については、国際的に明確化されているとは言い難い状況にあるが、SBSTA による専門家会合（2011 年 11 月、独；ボン）、COP17（2011 年 12 月、南ア、ダーバン）での議論を念頭に、本調査では RELs/RLs を次のように定義づけする。

- RELs/RLs は過去の歴史的炭素変化量を基に将来予測のために外挿したものとす。つまり本調査では BAU(Business as usual)に従って外挿された将来予測が RELs/RLs であると定義する。一方で RELs/RLs の開発に際しては、国別状況を加味することも議論されているが、将来予測に必要な社会経済的因子や政策因子を組み合わせたモデルの開発は困難かつ不確実性が高いという判断から、これを考慮しないこととした。そのことから本調査で検討される RELs/RLs には更なる検討の余地があるためインテリム RELs/RLs と称し区別することとした。
- 過去の歴史的炭素変化量は森林面積変化（活動データ；Activity Data、以下「AD」）と、この変化に由来する吸収・排出量を計算するための原単位（排出係数；Emission Factor、以下「EF」）を組み合わせたものとす。このうち AD は既存の森林分布図や衛星画像を基に作成する。また EF については過去に実施された地上調査を基に生成する。このことは温室効果ガスの観測にはリモートセンシングデータと地上調査の組み合わせが有効であるという 4/CP.15 での決議文書<sup>1</sup>を考慮している。

### 1.3.2 インテリム RELs/RLs 開発の方法論

本調査ではインテリム RELs/RLs 開発について、当初から一つの方法論に絞った取組ではなく開発に関連する様々な技術的オプションを検討し、その結果から最も妥当と思われる方法論を提案する方式とした。

インテリム RELs/RLs の集計方法、インテリム RELs/RLs の開発単位、過去の衛星データの使用頻度、排出係数開発のための層化区分、将来予測のために適用するモデルの 5 点において、オプションごとのメリット・デメリットについて試算結果をもとに取りまとめることとした。

---

<sup>1</sup> “Use a combination of remote sensing and ground-based forest carbon inventory approaches for estimating, as appropriate, anthropogenic forest-related greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks, forest carbon stocks and forest area changes”

## 2. 「活動データ」(AD)としての森林地図の作成

インテリム RELs/RLs の開発には森林タイプ面積の歴史的変動を捉えることと森林タイプ別の単位面積あたりの炭素蓄積を把握することが重要であり、前者は活動データ(AD)、後者は排出係数(EF)と言われるものである。この章ではベトナム国におけるADとしての過去の森林分布図の収集について、作成に至る経緯や手法、その結果について述べる。

はじめに、森林分布図の作成に際して必要な条件に関する国際議論の内容、ベトナム国における既存の森林分布図について調査を行った。その結果に基づき、RELs/RLsの開発に必要な基礎的データ整備を目指すこととし、データ整備における基本方針は以下の通りとした。

- 1990年以降は森林減少を抑制し、661プログラム等の政策により森林増加を推進した転換期である。そのことから、ベトナム国における状況を考慮したRELs/RLsを開発するためには1990年まで遡った森林変化の把握が不可欠である。
- これまでに作成された既存の森林分布図を活用しつつ、不足している部分を補う手法とする。同時に時間一貫性を確保するために、2010年の森林分布図をベンチマークマップとし、このデータから過去に遡って分類結果の修正等を行う。
- 森林分布図は単年で作成されるわけではなく、複数年かけて作成されている。本プロジェクトでは以下のように地図の作成時点を定義した。  
1989-1992; 1990年森林分布図      1991-1995; 1995年森林分布図  
1996-2000; 2000年森林分布図      2001-2005; 2005年森林分布図  
2006-2010; 2010年森林分布図
- 不足している箇所の補完はLandsatTM、ASTER、ALOS、SPOT衛星を利用した目視判読の技術を適用する。また、目視判読の項目は政令(Decree number 01/2008/NĐ-CP dated 03/01/2008)に基づくものとした。

これらの基本方針をもとにADの開発は図2.1の手順とした。

- 既存データについては分類項目の違いや投影法の違いなどを解消した上でデータベース化を行った。また、森林分布図の再判読、修正を行うため、衛星データ整備を行った。
- 判読作業はこれまでに森林分布図を作成してきたFIPI(Forest Inventory and Planning Institute)が行った。目視判読の経験が豊富であるものの、森林分布図の精度が判読技術者のスキルに依存する課題があることに留意を要した。
- 2010年森林分布図はSPOT衛星データ(一部、ALOS衛星データで補完)を用いており、2.5mの高解像度画像から高い精度で森林分布図が作成されている。一方、2005年以前の過去の森林分布図はLandsat衛星データを主体として作成されており、30m解像度という地上解像度の制約を受けている。解像度の違う衛星データを時系列データとして同一に扱うことから、データ整備手法の一貫性に配慮し、2010年森林分布図をベンチマークマップとして分類結果

の連続性に配慮した修正を行った。ここまでの作業を経て森林分布図（案）が作成されることとなる。

- 森林分布図（案）の作成に際しては、地図調製時の正確性、精度の向上を目的に、第三者チェックとして (1)1/50 万～1/70 万の小縮尺での概略チェック（Outline check）、(2) 1/10 万～1/20 万の中縮尺での詳細チェック（Detail check）を実施した。第三者チェックの結果は、適宜、判読者にフィードバック及び修正依頼を行い、このプロセスを循環的に繰り返すことで品質向上に努めた。

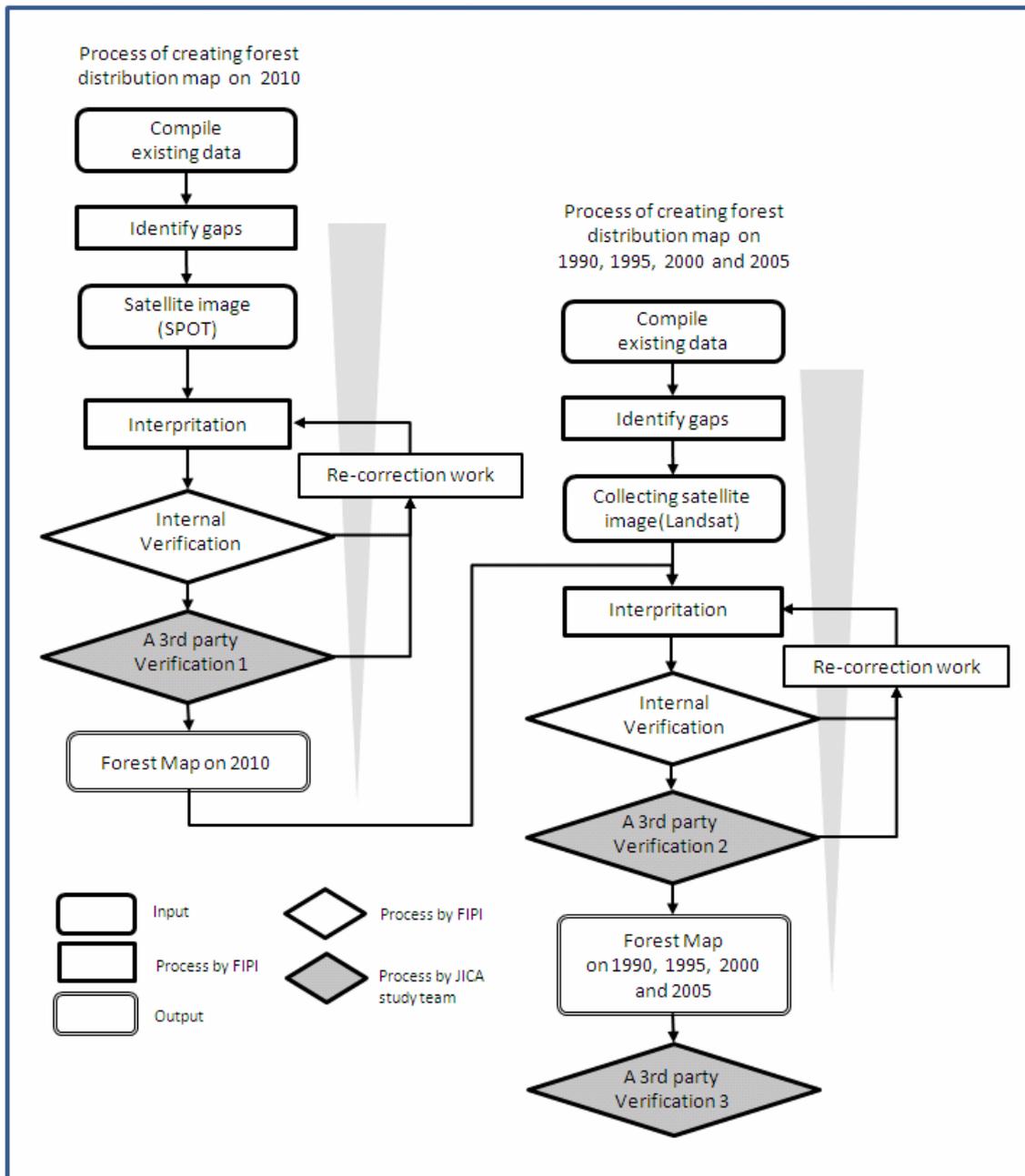


図 2.1 AD 整備の作業フロー

図 2.2 ～ 図 2.3 に作成された 5 時点森林分布図のベトナム国全図（概略図）を示す。

また、森林動態に着目し、作成された5時点森林分布図から17区分の土地利用カテゴリーのうち森林タイプのカテゴリー（タイプ1～12）のみを抽出し面積集計した結果を図2.4に示す。

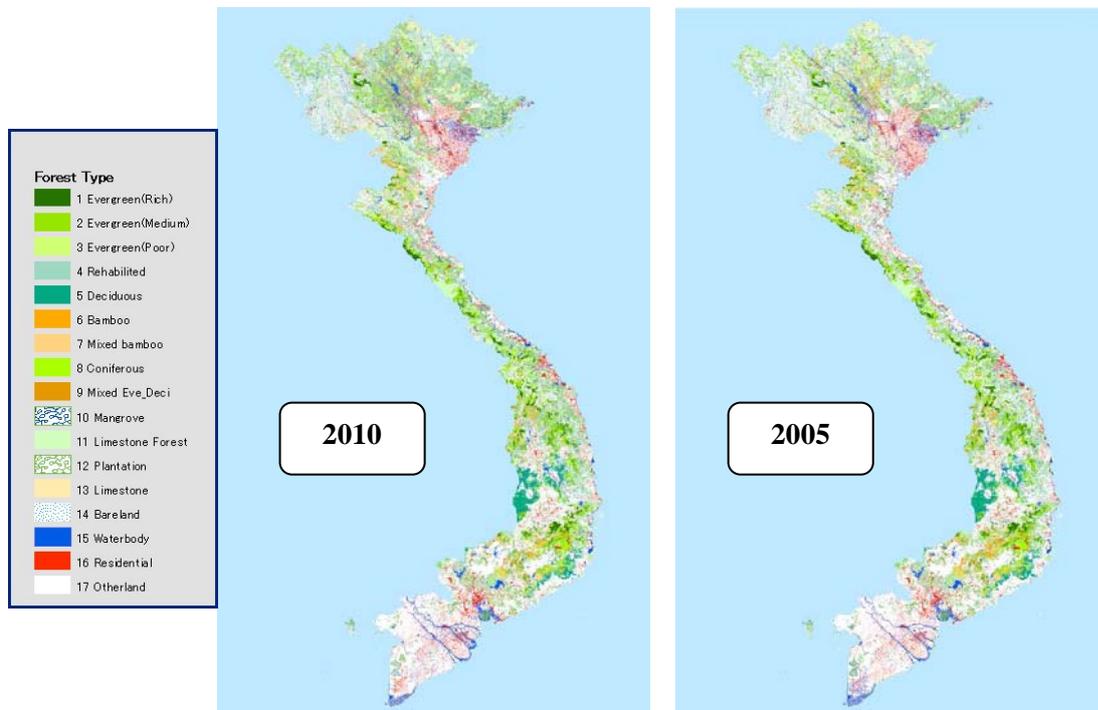


図 2.2 森林分布図（2010年, 2005年）

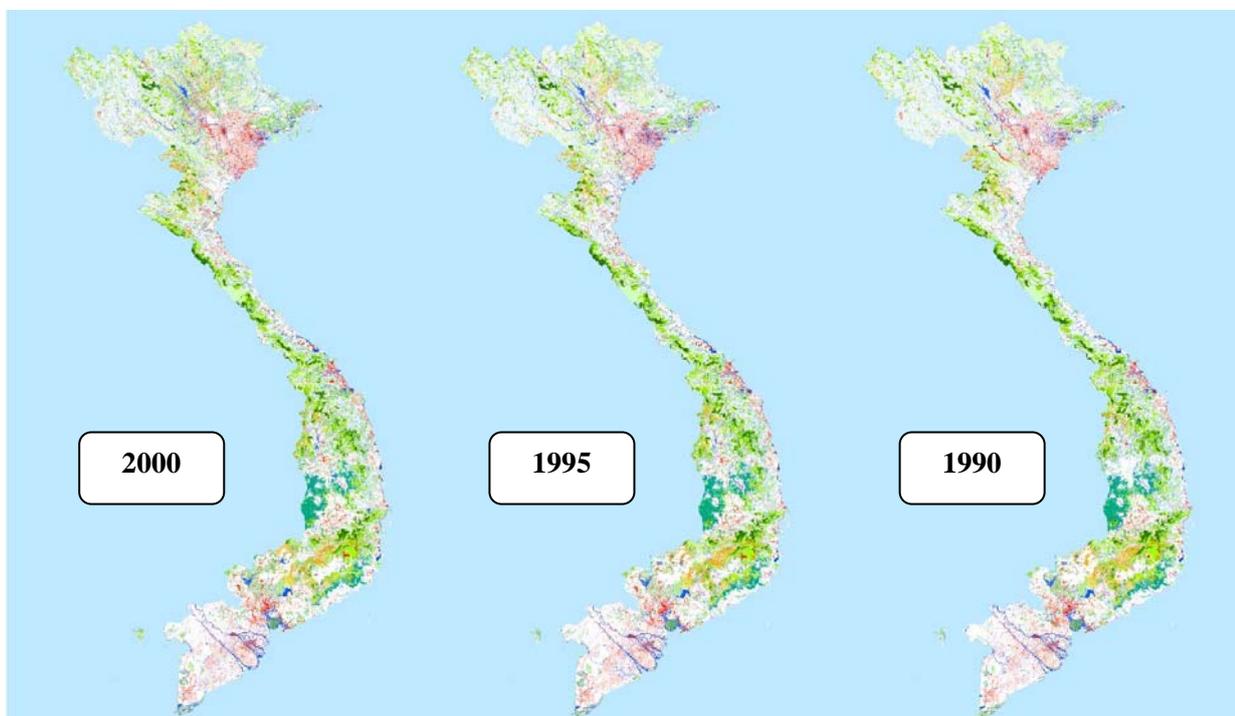


図 2.3 森林分布図（2000年, 1995年, 1990年）

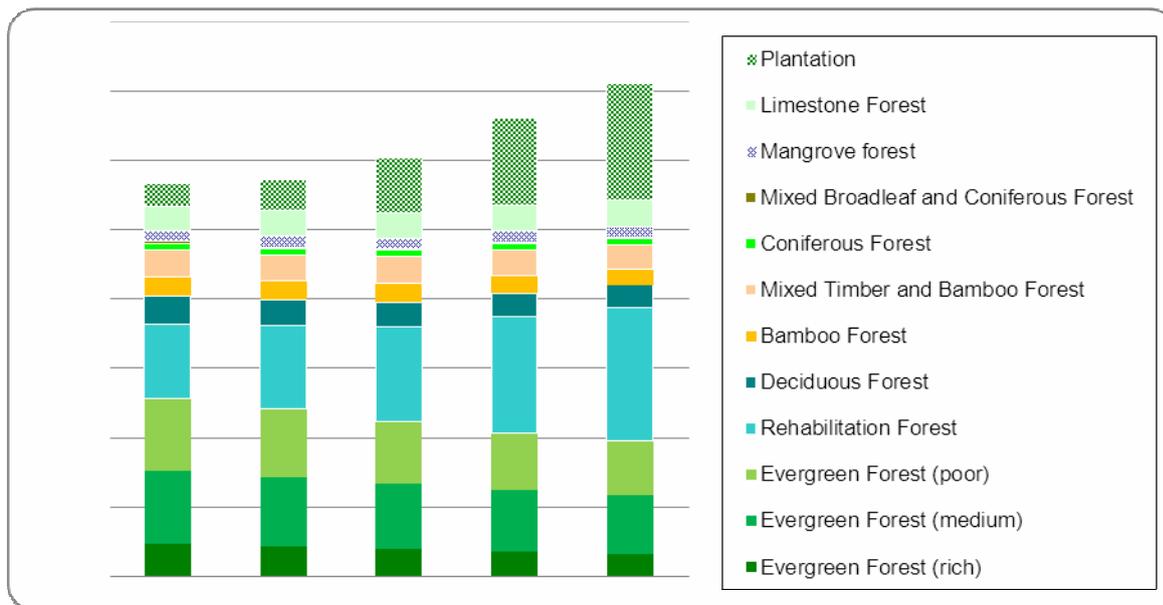


図 2.4 1990 年以降の森林タイプ別面積の動態（全国集計値，単位；1,000 ha）

図 2.4 から 1990 年以降ベトナムの総森林面積は右肩上がりの増加傾向にあることが読み取れる。なお、2 時点と比較した場合に面積が単純増加している場合であっても、実際には他のカテゴリーとの出入りなど、より複雑な変化が発生している可能性があることに留意が必要である。

森林動態を Agro-ecoregion 別に整理した結果、ベトナム北部では森林増加傾向にあり、南部は変化が無い若しくは若干の減少傾向にあることが分かった。なお、それぞれの森林タイプがどのような形で増加や減少しているかといった森林動態については、GIS などを駆使した属地的な解析が必要であることが示唆された。

SBSTA35 で決議された RELs/RLs の提出に関するガイドラインでは情報の透明性や正確性を期すことが明記されている。透明性を確保するためには検証（Verification）のプロセスを実施し、不確実性を評価することが必要である。

本調査では主題図正確性について検証した。主題図正確性は森林タイプ別の分類結果が正しいかどうかを検証するプロセスである。この検証は AD を整備する上で、1) ベンチマークマップと位置付け主に SPOT 衛星データを利用し整備した 2010 年森林分布図に対する QC を目的とした検証 1、2) 主に Landsat 衛星データを利用し整備したその他の時点（1990 年～2005 年の 4 時点）の森林分布図に対する QC を目的とした検証 2、3) 各時点の森林分布図の最終成果に対する精度検証を目的とした検証 3 に分けて実施した。検証 1 ～ 3 のフローを図 2.5 ～ 図 2.6 に示す。

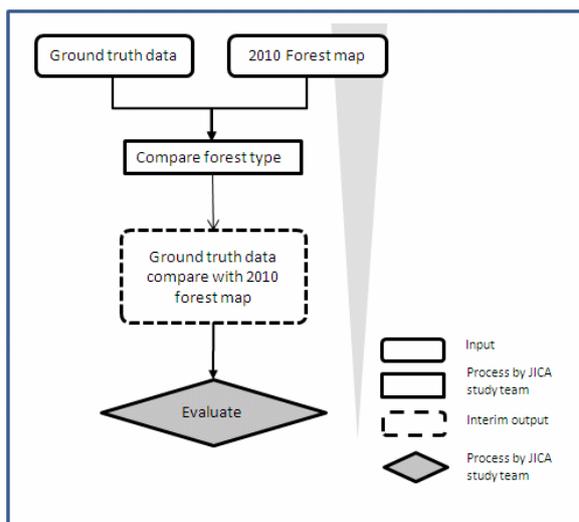


図 2.5 検証 1 のプロセス

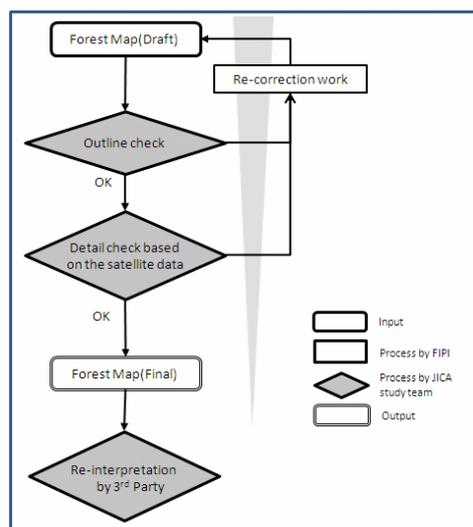


図 2.6 検証 2 and 3 のプロセス

### (1) 現地検証に基づく 2010 年森林分布図の検証（検証 1 の検証結果）

現地調査を実施した 91 点のうち 86 点が森林として正しく判読されており、正答率は 94.5%となった。森林として正しく判読されているもののうち、森林タイプの判読精度について評価すると正解率 80%となった。更に常緑広葉樹林（Evergreen broadleaf forest）に判読された箇所のなかで質的な区分として使われている Rich, Medium, Poor の評価では正解率が 74%となった。

### (2) 2005 年以前の森林分布図の検証（検証 2 の検証結果）

各省 5 時点のうちランダムに二時点を選定し評価する方法とした。作業縮尺は、FIPI との協議により 1/10 万～1/20 万とした。

最も多い事例は、森林分布図に引かれた境界線（polygon）の根拠が不明瞭であるケース、衛星画像の色調から推定される土地被覆と割り当てられた土地被覆が一致しないケースであった。

### (3) 二者の一致率に基づく森林分布図成果品の精度検証（検証 3 の検証結果）

検査対象となる地域の森林分布図に 4km 間隔のグリッド（格子点）を発生させ、この格子点ごとに判読結果の一致率を比較した。

検証の結果、Landsat 衛星を用いた森林・非森林の判読精度は 90%前後、SPOT 衛星を用いた森林・非森林の判読精度は 95%前後と推計された。すなわち、森林減少に関する AD は同程度の精度で推計可能であるということの意味している。一方、森林劣化の評価精度に関しては常緑広葉樹林

(rich) と常緑広葉樹林 (medium) の分類精度を定量化する必要があるが、このことについては、検証 1 の現地調査の結果から約 75% 程度の分類精度との結果が得られている。第三者判読の一致率を用いた森林劣化の検証については、現地情報など補助的情報を加味したより高い判読技術が要求されることも本開発調査を通して得られた知見であるが、具体的な方法論は、今後の検討課題である。

以上の結果から、現在の AD の作成方法の改善点について提言する。

第一に一貫性を考慮した変化解析技術の導入が挙げられる。森林分布図を作成する場合は、直近の森林分布図ポリゴンを参照しながら、非変化箇所と変化箇所を特定し、変化後の土地被覆や森林タイプを特定するという手順が望ましいだろう。この方法を推奨する大きな理由は、変化抽出精度と現実の変化量との関係がより適切なものとなる可能性が高いからである。この方法を実現するためにはオブジェクト指向型の森林分類手法が役立つと期待される。

次に頑健性を考慮した変化解析技術の導入を提言する。FIPI ではこれまで目視判読に拠る分類解析が行われてきたが、森林分布図の作成精度が判読者の経験に依存している可能性が示唆された。判読精度の標準化や高精度化には、解析技術者に対する統一かつ恒常的な判読トレーニングの開催や、現地検証調査への同行などが非常に役立つであろう。また、先ほど述べたオブジェクト指向型の画像解析ソフトウェアは利用者のスキルに依存せず、一定のパラメータを与えることで同じ判読結果を生成できるという特徴を持っている。

最後に QA/QC プロセスの明確化と解析作業へのフィードバックを提言する。これまで作成された既存地図の精度検証などは行われておらず、その結果について森林分布図を作成する技術者にフィードバックすることも無かった。先ほどの解析に関する定期的なトレーニング同様に QA/QC のプロセスに関与する仕組みを恒常的に構築し、システムティックな判読技術精度の向上を目指すことが不確実性の低減には重要な要素と考える。

### 3. 「排出係数」(EF)としての森林蓄積及びバイオマスデータの開発

インテリム RELs/RLs の開発には森林タイプ面積の歴史的変動を捉えることと森林タイプ別の単位面積あたりの炭素蓄積を把握することが重要であり、前者は活動データ(AD)、後者は排出係数(EF)と言われるものである。EFはADに乗算する係数であり、ADにおいて定義された森林タイプごとに開発する必要がある。

ベトナム国において全国を対象として体系的に実施されている地上調査は National Forest Inventory, Monitoring and Assessment (以下、「NFI」)である。この調査は全国統一的に実施されている唯一の地上調査であり、EFを算出するデータとして有効である。調査は1991年以降4回実施されており、毎回の調査点数に変動があるものの、おおよそ8km格子点ごとのシステムティックサンプリング調査設計となっている。

NFIデータを整理し、ADと同様の森林に関係する12のカテゴリーごと、かつ地域的な層化区分ごとに地上部平均材積を計算することとした。計算に際しての基本方針は以下の通りである。

- これまで4回実施されたNFIデータを利用し、それぞれの調査時点ごとに平均材積を計算する
- より均質なデータを抽出するために、1つのプロットに含まれる40のサブプロットごとに平均材積を再計算する。
- 平均材積を計算したのち森林タイプの定義を勘案し、常緑広葉樹林(rich)については平均材積200m<sup>3</sup>未満、常緑広葉樹林(medium)については200m<sup>3</sup>以上及び100m<sup>3</sup>未満、常緑広葉樹林(poor)については100m<sup>3</sup>以上を除外する。
- 地上部バイオマスのうち枝葉について、及び地下部バイオマスについてはFAOが提供しているパラメータを採用する。
- 本調査の計測対象とする炭素蓄積は以下の通りとする。

表 3.1 計測対象とする炭素蓄積

炭素蓄積	データ
地上部	NFI 及び FAO パラメータ
枯死木及びリター	対象外
地下部	FAO パラメータ
土壌有機物	対象外

はじめに、森林タイプ別平均材積を計算するために、時系列的な視点と地理的な視点に基づく取りまとめの方法論を検討した。

時系列的視点からはサイクル1から4までを全て合算して平均値を算出する方法とサイクル別に分けて平均値を算出する方法が考えられる。サイクル1から4までのデータを合算して平均材積を計算した場合、森林劣化や天然成長などの重要な情報を失う恐れがあるため、平均材積の計算はサイクル別に行うことが適切であると結論付けた。

森林タイプ別の平均材積計算における地理的な視点に関しては、不確実性を低減するための層化という判断が必要である。地域差を無視して平均値を算出した場合、母集団における分散の値が高くなり、平均値に含まれる不確実性が高くなると予想されるため、分散を低く抑えるように地域的な層化区分を採用した平均値の算出が必要とされる。ベトナム国で検討可能な層化区分は Agro-ecoregions と Bio-ecoregions の2つが挙げられるが、検討の結果、バイオマス評価に大きな影響を与える常緑広葉樹林の不確実性が低い Bio-ecoregions を層化区分として採用することが有効であると判断した。

次に、地上部バイオマス及び地下部バイオマスをまとめた EF は以下のように計算することができる。

$$EF (CO_2t/ha) = (AGB+BGB)*CF*44/12$$

$$AGB = GS \times BCEF \quad (1a)$$

$$BGB = AGB \times R \quad (2)$$

Where:

AGB = Above-ground biomass (tonnes)

BGB = Below-ground biomass (tonnes)

GS = Growing stock (Volume, m<sup>3</sup> over bark)

BCEF = Biomass conversion and expansion factor

(Above ground biomass / growing stock, (tonnes/m<sup>3</sup>))

R = Root-shoot ratio (Below-ground biomass / Above-ground biomass)

CF = Carbon Fraction (0.47)

BCEF (バイオマス変換拡大係数) は FAO が示したパラメータを採用することとした。熱帯湿润地域の BCEF は下表の通り。

表 3.2 熱帯湿润地域の BCEF (FAO)

TABLE 5.4 <sup>4</sup> DEFAULT BIOMASS CONVERSION AND EXPANSION FACTORS (BCEF), TONNES BIOMASS (M <sup>3</sup> OF WOOD VOLUME) <sup>-1</sup> BCEF for expansion of merchantable growing stock volume to above-ground biomass (BCEFs)										
Climatic zone	Forest type	BCEF	Growing stock level (m <sup>3</sup> /hectare)							
			<10	11-20	21-40	41-60	61-80	80-120	120-200	>200
Humid tropical	conifers	BCEFs	4.0 (3.0-6.0)	1.75 (1.4-2.4)	1.25 (1.0-1.5)	1.0 (0.8-1.2)	0.8 (0.7-1.2)	0.76 (0.6-1.0)	0.7 (0.6-0.9)	0.7 (0.6-0.9)
	natural forests	BCEFs	9.0 (4.0-12.0)	4.0 (2.5-4.5)	2.8 (1.4-3.4)	2.05 (1.2-2.5)	1.7 (1.2-2.2)	1.5 (1.0-1.8)	1.3 (0.9-1.6)	0.95 (0.7-1.1)

NFI では樹頂までの樹高が計測されていることから上記各レンジのうち、低い方の値を採用することとした。その他の値に関しては IPCC が示した<sup>2</sup>Tier-1 を採用した。具体的には Carbon Fraction については 0.47、Ratio of Below-Ground Biomass to Above-ground Biomass については 0.24 を適用した。

求められた EF は下表のとおりである。このパラメータの中には枯死木・リター及び土壌有機物は含まれていないことに留意が必要である。

表 3.3 サイクル 1 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EF (CO<sub>2</sub>t/ha)

※1 \ ※2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2	646	283	157	110	228		297					
3												
4	959											
5	606	283	143	140			329					121
6	560	272	124	98		106	191	5			209	78
7	471	258	141	107			193	83				77
8			113	97								
9	518	261	117	74		25	173	96				77
10	477	283	127	148	224	189	240					121
11	546	276	154	121	185	119	205	203	200			123
12	529	279	131	135	219		316	298				120
14												

表 3.4 サイクル 2 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EFs(CO<sub>2</sub>t/ha)

※1 \ ※2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			149	142						64		
2	489	274	107	144	241		258					
3										68		
4	660	295	187				330					
5	561	274	139	93		87	256					77
6	587	271	115	83		119	151				116	86
7	457	268	147	99			195	98				90
8												
9		260	104	65		96	99	90				88
10	446	276	124	141	237	126	181		94			87
11	459	278	142	141	255	85	172	127	233			84
12	465	277	129	126	183		184	223	363		20	64
14												

<sup>2</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 4; Forest Land

表 3.5 サイクル 3 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EF (CO<sub>2</sub>t/ha)

※1	※2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			319	163	157						99		
2		434	271	112	148	214		236					
3											99		
4		472	300	130				249					
5		519	268	142	101		83	181	82				116
6		505	270	119	75		283	114	29			116	83
7		428	285	153	109		107	151	87				60
8													
9			250	118	68		75	95	86				77
10		435	280	143	146	226	121	202	340				88
11		448	280	143	134	257	75	154	166	268		150	195
12		449	277	134	140	180		190	96	169		78	201
14											89		124

表 3.6 サイクル 4 に基づく Bio-ecoregion 別森林タイプ別 EFs (CO<sub>2</sub>t/ha)

※1	※2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				181	157								75
2		604	282	144	157	178		279					
3											115		104
4		798	299										
5		508	275	158	131		78	219	92				67
6		516	272	135	94		66	118				165	103
7		417	272	171	116		82	181	146				70
8													
9			271	110	115		86	122		105	4		85
10		465	282	158	148	196	138	249					94
11		502	291	162	135	153	91	199	253	292			163
12		511	280	120	128	189	104	240		271			106
14													102

※ 1 (Bio-ecoregions);1=Cardamom Mountains rain forests, 2=Central Indochina dry forests, 3=Indochina mangroves, 4=Luang Prabang montane rain forests, 5=Northern Annamites rain forests, 6=Northern Indochina subtropical forests, 7=Northern Vietnam lowland rain forests, 8=Red River freshwater swamp forests, 9=South China-Vietnam subtropical evergreen forests, 10=Southeastern Indochina dry evergreen forests, 11=Southern Annamites montane rain forests, 12=Southern Vietnam lowland dry forests, 14=Tonle Sap-Mekong peat swamp forests

※2 (Forest types) ; 1=Evergreen broadleaf forest(rich forest), 2=Evergreen broadleaf forest(media forest), 3=Evergreen broadleaf forest(poor forest), 4=Evergreen broadleaf forest(rehabilitation forest), 5=Deciduous forest, 6=Bamboo forest, 7=Mixed timber and bamboo forest, 8=Coniferous forest, 9=Mixed broadleaf and coniferous forest, 10=Mangrove forest, 11=Limestone forest, 12=Plantation

#### 4. 国レベルの RELs/RLs の設定

RELs/RLs の定義やどのようにして構築するかという点については明確な方法論が示されていない。一方、過去の歴史的変動を把握することの重要性や衛星データと地上調査を組み合わせた森林変化の把握の有効性については広く認知されているところである。また、報告に際しては可能な限り不確実性を低く抑え、頑健かつ透明性が高い手法を採用することが求められている。

本節では、このような基本原則を念頭におきつつ RELs/RLs を構築する際に直面する幾つかの技術的オプションについて検討した。検討項目は下表に示すとおりである。このうち、排出係数開発のための層化区分については、不確実性を低く抑えるという観点から Bio-eco-region が適切であるとする結論を 3 章で得た。以下、それぞれの技術的オプションごとに検討結果を述べる。

表 4.1 RELs/RLs 構築における検討オプション

検討項目	オプション1	オプション2
インテリム RELs/RLs の計算方法	RELs/RLs を統合	RELs と RLs を分離
インテリム RELs/RLs の構築単位	全国 1 本で将来予測する方式	地域別に将来予測し、全国集計する方式
過去の衛星データの使用頻度	3 時点	5 時点
排出係数開発のための層化区分*	Agro-ecological zones	Bio-ecological zones
将来予測のために適用するモデル	単純平均	回帰モデル

なお、本調査では森林減少や森林劣化に由来して二酸化炭素が排出される変化を表現したものを RELs とし、森林回復や再植林、新規植林により二酸化炭素が吸収される変化を表現したものを RLs と定義する。

##### 4.1 インテリム RELs/RLs の計算方法 (SCM と FCMM)

過去の炭素蓄積の動態を把握する方法には RELs と RLs を統合して計算する方法と RELs と RLs を分離して計算する方法が考えられる。前者は IPCC が示している GHG インベントリーの報告方法に則った Stock Change Method (以下、「SCM」)により把握することができる。SCM の場合、排出量と吸収量を一体化して計算するため、それぞれがどのような過去のトレンドであったかを明確にすることが出来ない。IPCC によって推奨された方法であり広く認められているが、RELs と RLs の分離が出来ないという課題を抱えている。

一方、排出量と吸収量を分離して把握する場合は、森林分布がどのように変化したか 2 時点の森林タイプ変化のマトリックスを作成する方法（以下、「FCMM」）を適用することで可能となる。この場合、過去の排出量や吸収量がどのように推移したかを個別に観測することができる。このため過去の森林減少要因や社会経済的要因、政策効果などと連動しながら森林変化を解釈することが可能となる。このことは森林変化とその他因子の関連性を加味したモデルを検討して将来予測を行う上でも非常に重要である。更に吸収量や排出量を個別に推計しているため、過去の森林変化トレンドを明確化しやすいと考えられる。しかしながら FCMM は IPCC で認められた方法論ではなく、RELS/RLs の解釈に特殊性がある点に留意が必要である。

IPCC が示している SCM では、二時点の森林分布図とこれに対応した森林タイプ別現存量を乗算することで二時点間の炭素ストックを把握することができる。

$$\Delta t_2-t_1 = (ADt_2 * EFt_2 - ADt_1 * EFt_1)$$

ADt<sub>1</sub>: 期首の森林現況      ADt<sub>2</sub>: 期末の森林現況

EFt<sub>1</sub>: 期首の排出係数      EFt<sub>2</sub>: 期末の排出係数

SCM は計算が比較的容易であるが、二時点間での森林減少量と森林増加量を相殺した結果が生成され、増加量と減少量を分離して推計することができない。仮に RELs を森林減少・劣化の抑制活動に拠るもの、RLs を森林増加活動に拠るものと定義した場合、SCM では別個に評価することができない。

一方、FCMM を用いた場合、作業時間はかかるものの二時点間での森林減少量と森林増加量を別個に推計することができる。

$$\Delta t_2-t_1 = \sum (F_{a/a} * (EF_{a2} - EF_{a1})) + (F_{a/b} * ((EF_{b2} - EF_{a1}))) + (F_{a/c} * ((EF_{c2} - EF_{a1}))) + \dots + (F_{q/q} * ((EF_{q2} - EF_{q1})))$$

a/a ; t<sub>1</sub> から t<sub>2</sub> の時間間隔において森林タイプ a が森林タイプ a に変化した面積

a/b ; t<sub>1</sub> から t<sub>2</sub> の時間間隔において森林タイプ a が森林タイプ b に変化した面積

EF<sub>a2</sub> ; 森林タイプ a の t<sub>1</sub> の EF      EF<sub>a2</sub> ; 森林タイプ a の t<sub>2</sub> の EF

SCM、FCMM それぞれの手法によるベトナム国全域の森林面積動態及び森林変化は図 4.1、図 4.2 の通りである。なお、1990 年及び 1995 年の AD に対してサイクル 1 によって生成された EF を乗算し、2000 年はサイクル 2、2005 年はサイクル 3、2010 年はサイクル 4 のデータを適用した。なお、この各年の AD と EF としてのサイクルデータとマッチングについては、本章での他の全ての RELs/RLs の試算においても適用されている。

SCM による総炭素蓄積の変化量を見ると、2000 年まで森林分野は排出源となっているが、この時期を境に吸収源に変わったことが分かる。一方、FCMM を用いて吸収と排出の推移を別々に推計

した場合、2000年を境に吸収量が増加し、排出量が若干少なくなりつつある傾向が見て取れる。

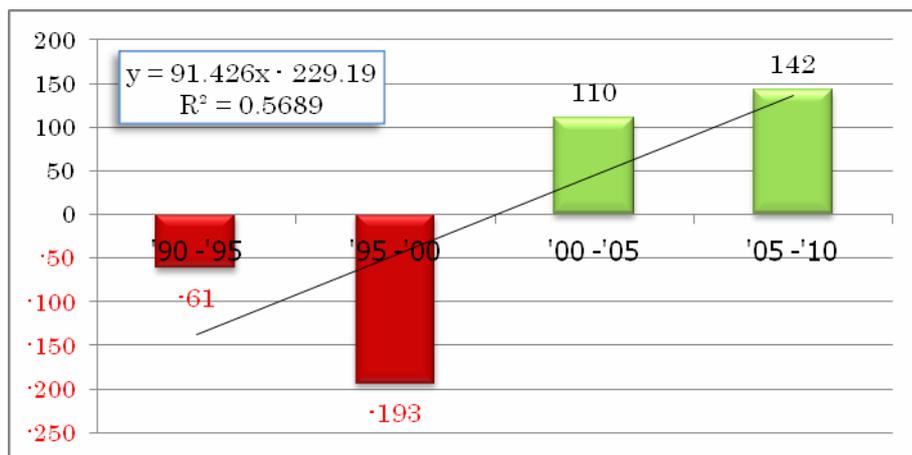


図 4.1 1990 年以降の森林分野におけるストックチェンジ (ベトナム全土)

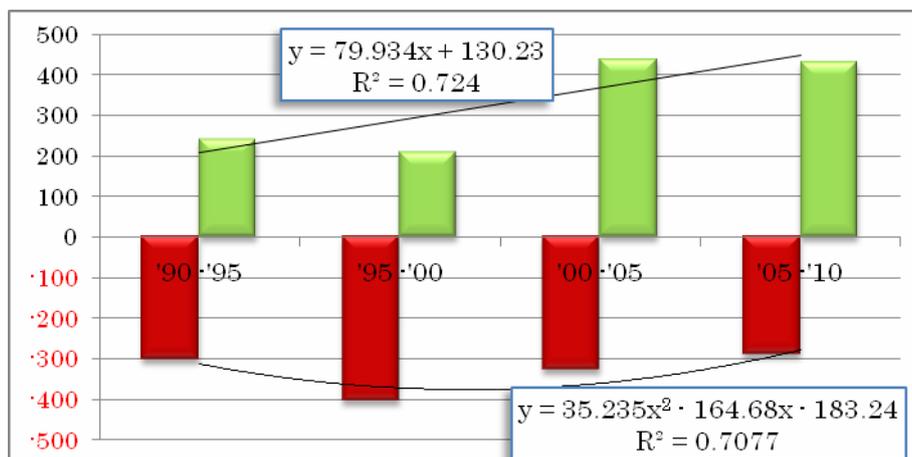


図 4.2 1990 年以降の森林分野における吸・排出量 (ベトナム全土)

#### 4.2 炭素動態を把握するための集計単位

RELS/RLs を構築する場合の集計単位をどの単位に設定するべきかというオプションには、全国単位、Agro-ecoregions 単位、省単位の 3 つが挙げられる。検討の結果、全国を集計単位にした場合、地域的な特徴が失われる一方、マクロ的な動態を把握することが可能との結論を得た。また、Agro-ecoregions 単位の場合は北部、中部、南部など生態学的な地域の特徴を捉えつつ、政策的な活動を加味した傾向を捉えていた。省単位の場合は各省の政策に連動した傾向を把握することが可能となるものの、集計単位が細分化されるため動態解析の基礎となった森林分布図の判読精度の限界に留意が必要であることも明らかとなった。

これらの検討結果から RELs/RLs を構築する場合の地理的境界については以下のようにまとめることができる。

- Agro-ecoregion に分けて森林変化を把握した場合、北部地域、中部地域、南部地域で異なる傾向が見られた。
- 地域別の傾向はそれぞれの森林減少要因や森林回復要因と連動していると推察され、将来予測に必要な社会経済的因子との相関を検討する好材料と考えられる。
- Agro-ecoregion について更に細かく省別に分けて森林変化を把握すると、それぞれが属する Agro-ecoregion とはやや異なる傾向を示す省もみられた。これは省別の施策や森林現況などを表しているものと推察される。
- 省別の森林変化を観察すると、一定の傾向が見られる場合と多様な変化傾向を伴っている場合が観察された。これは森林減少や森林増加がモザイク的かつ複雑に発生している可能性を示唆しており、将来予測を行う上で十分留意すべき点である。

### 4.3 過去の森林変化の時点数

RELS/RLs の構築で留意すべき基本原則は方法論の頑健性や透明性、保守的推計である。更に構築に必要な基礎情報として過去の森林変化が不可欠であることも共通理解として認識されている。しかしながら、いくつの時点数を用いて過去の森林変化を把握すべきかという具体的な数値について国際合意されたガイドラインは無い。ここでは3時点と5時点の異なる時点数を用いて森林変化を把握し、それぞれに生ずる不確実性について検討した。その結果、森林変化の傾向が一定である場合は時点数が少なくても不確実性が低い将来予測が可能であるが、森林変化の傾向が不定である場合は時点数が少ないと不確実性が高くなるという結果を得た。

### 4.4 将来予測モデル

過去の森林変化から将来の吸・排出量を推計する場合、どのような外挿モデルを適用するか検討する必要がある。なお、この調査で検討している RELs/RLs は過去の森林変化に関する情報だけを用いて将来を予測するものであり、社会経済的因子や国別状況を加味したものではない。そのため将来予測モデルは過去の森林変化に対する回帰モデルの適用度合いを指標として検討する必要がある。その結果、過去の森林変化トレンドの傾向に応じて選択するモデルの適切性が変わることが分かった（表 4.2）。

表 4.2 吸収量・排出量別の将来予測モデルの特性

	直近の動向	平均モデル	回帰式モデル
吸収量	増加	少なく予測	多く予測
	減少	多く予測	少なく予測
排出量	増加	少なく予測	多く予測
	減少	多く予測	少なく予測

- 便益を得る側の視点からは吸収量を少なく、排出量を多く予測するモデルの方が有利と言える。
- 吸収量について言うと、直近の動向が増加傾向にある場合は平均モデルの方が少ない吸収量を予測し、回帰式モデルの方が吸収量を多く予測する。
- 直近の動向が減少傾向の場合はこの逆になる。
- 排出量について言うと、直近の動向が増加傾向にある場合、平均モデルの方が少ない排出量を予測し、回帰式モデルの方が排出量を多く予測する。
- 直近の動向が減少傾向の場合はこの逆になる。
- 過去の森林変化に一定の傾向が見られない場合は平均モデルが代替手段として考えられる。

#### 4.5 インテリム RELs/RL を構築する方法の提案

RELs/RLs の計算方法は、森林減少要因や増加活動との整合性を考慮すると RELs と RLs を分離したほうが過去の傾向を説明しやすい。しかし、分離した計算方法は IPCC で認められた方法でないことに留意が必要である。また RELs/RLs の集計単位は、森林減少・森林劣化の地域的特徴を捉える必要があり、そのための層化が有効であることが確認された。このことは将来予測モデルを検討する上での頑健性にも影響する。

次に衛星データの使用頻度については、単純傾向にある場合はいずれのオプションでも差が無いものの、3 時点データでは 5 時点データと異なる結果をもたらす危険性もあることが明らかとなった。さらに、排出係数開発の層化区分は Bio-ecoregion の方がより低い不確実性を示した。

将来予測のために用いるモデルについては、高次の回帰モデルを適用すると直近の動向に左右されるため、時として極端な将来予測を行うことがあり注意を要する。また、過去の吸収量、排出量の動向トレンドがプラスであるか、マイナスであるかという場合ごとにそれぞれのモデルが将来予測に及ぼす影響は異なってくる。

オプションに係る検討結果を総括すると表 4.3 のように取りまとめることができる。

表 4.3 RELs/RLs 構築における検討オプションの特徴

検討項目	オプション1	オプション2
	RELs/RLs を統合	RELs と RLs を分離
インテリム RELs/RLs の計算方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>過去の吸・排出量の動向が不明確</li> <li>IPCC で認められた手法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>過去の吸・排出量の動向が明確</li> <li>政策や森林減少要因との連動により傾向を説明しやすい</li> <li>IPCC で認められた方法では無く、極めて特殊</li> </ul>
インテリム RELs/RLs の構築単位	<p>全国1本で将来予測する方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>マクロ的動向の把握に適する</li> <li>森林現況や施策の地域性が表れない</li> </ul>	<p>地域別に将来予測し、全国集計する方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>森林減少や増加の要因を伴って森林変化傾向をつかみやすい</li> <li>地域的な施策の特徴を加味できる</li> </ul>
過去の衛星データの使用頻度	<p>3時点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>森林変化に一定の傾向が見られる場合は、不確実性が低く推計できる</li> <li>コストを低く抑えることができる</li> </ul>	<p>5時点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3時点よりも頑健なモデルが構築できるが、コストがかかる。</li> </ul>
排出係数開発のための層化区分*	<p>Agro-ecological zones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>排出係数の計算において、行政界を利適用すると不確実性が高くなる場合がある。</li> </ul>	<p>Bio-ecological zones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生態学的要素を加味した地域界を用いた排出係数の計算により、不確実性が低く抑えられる。</li> </ul>
将来予測のために適用するモデル	<p>単純平均</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>吸収量が単純増の傾向では、将来予測が少なめに推計される。</li> <li>吸収量が単純減の傾向では、将来予測が多めに推計される</li> <li>排出量が単純増の傾向では、将来予測が少なめに推計される。</li> <li>排出量が単純減の傾向では、将来予測が多めに推計される。</li> </ul>	<p>回帰モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>吸収量が単純増の傾向では、将来予測が多めに推計される。</li> <li>吸収量が単純減の傾向では、将来予測が少なめに推計される</li> <li>排出量が単純増の傾向では、将来予測が多めに推計される。</li> <li>排出量が単純減の傾向では、将来予測が少なめに推計される。</li> </ul>

## 5. REDD 開発に向けた他データの検証

### 5.1 MODIS による森林動態の把握

衛星 Terra、Aqua に搭載されている MODIS は、全球を毎日撮影しており、無料でダウンロードできることから、広域の森林を安価に把握することができる。しかしながら地上分解能が 250m と粗いため、REDD+に対応可能なレベルで森林減少、劣化を把握できるかは未知数である。そこで MODIS による森林動態把握が REDD+に利用可能かを検討した。以下に MODIS データによる森林動態の把握として、1)森林減少情報の把握、2)大まかな森林分布図の作成、3)森林変化状況の地域差の把握について概説する。

#### (1) 森林減少情報の把握

データは MOD09Q1 (8 日合成、250m 分解能のバンド 1,2 データ)と MOD13A1 (16 日合成、500m 分解能の EVI データ) を用い、まず NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)=  $(\text{NIR}-\text{RED}) / (\text{NIR}+\text{RED})$  を算出した。

次に NDVI,EVI(Enhanced Vegetation Index)データそれぞれに対して、時系列モデリングにより雑音を除去する LMF 処理を行った (プログラムは、独立行政法人 科学技術振興機構 [http://act.jst.go.jp/content/h10/ter\\_cosm/T04/PageMain.html](http://act.jst.go.jp/content/h10/ter_cosm/T04/PageMain.html) よりダウンロード)。

NDVI 8 日間合成データの場合、1 年間に 46 の時点データが整備できる。それぞれの画素について、46 回の観測のうち、0.7 を超える高い NDVI 値を観測した回数に着目した。便宜的に NDVI 値が 0.7 を超えた値が観測された場合を、Green Leaf Period(GLP)と呼ぶ。

森林変化抽出を、二つの年度の状態を比較することにより行った。森林被覆が変化 (減少) したと判断する基準として、

- 1) 比較する最初の年において、GLP が観測されている回数は、26 回以上である
- 2) 比較する最後の年において、GLP が観測されている回数は、26 回以下である
- 3) 両者の回数の差が、26 以上減少している

この 3) は、変化の規模として、疎密度の低い落葉林が、裸地に変化したのと同じ規模以上の大きな植生変化があったことを想定している。MODIS NDVI データは 2001 年から 2010 年まで整備した。上記の手法を適用すると、2001 年と 2002 年の比較により両者間での森林減少と推定されるデータを得ることができる。1 年ごとに、2001-2002、2002-2003....という形で、9 時点の森林減少情報を得ることができた。

#### (2) 大まかな森林分布図の作成

EVI・NDVI データから、大まかな森林分布を求めることができる。まず EVI データ（2001-2009、各年 23 時点、合計 207 時点）について、平均値と標準偏差を求める。森林の抽出条件は、EVI の平均値（2001 年から 2009 年）が 0.43 以上を示し、かつ EVI 標準偏差（2001 年から 2009 年）が 33.0 以下を示すこととした。また最新の 5 年間の EVI 最低値を求めて、その値が 0.31 より小さく、前述の標準偏差が 0.25 より小さい画素は森林分布データから除外した。以上の大まかな森林分布情報から、森林減少情報における変化地点（非森林）と波形分析より求めた二毛作・二期作農地域を除外した。

以上の手法は、林野庁補助事業「津波等自然災害防備のための森林施行・管理推進事業」（（一社）日本森林技術協会実施、平成 22 年度終了）により開発された、MODIS によるインドシナ半島の森林情報作成手順である（図 5.1）。MODIS はこのような森林分布図の作成が可能であるものの、常緑・落葉の混交林、および疎な落葉林については、二毛作農地など、密度が高く年間を通して植物被覆の期間が長い非森林植生との区分が難しい。そのため、MODIS などの時系列情報は、画素単位のモニタリングを中心とした利用法がより適しており、分布図作成のような面的な利用には限界がある。

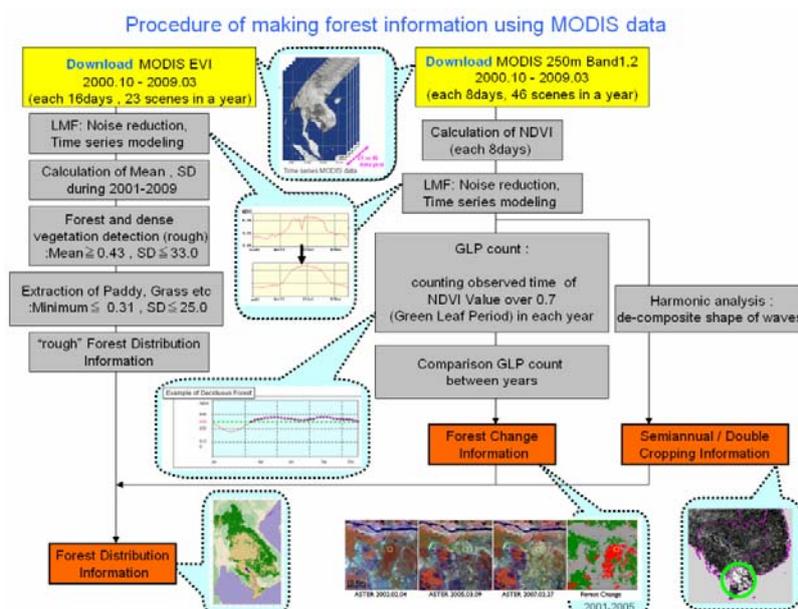


図 5.1 MODIS による森林情報作成処理手順の概略

### (3) 森林変化状況の地域差の把握

画素単位のモニタリングを応用して、森林の変化状況に地域差がみられるかという分析を行った。MODIS による EVI, NDVI など植生指標を、画素単位で時系列的に表示すると、植生被覆状態が同一であるか、あるいは変化しているかなどの解釈が可能である（図 5.2）。

ベトナム国境から内陸部向けに、10km, 20km, 30km のバッファー領域を設定し、9 時点の MODIS

森林減少情報を確認したところ、国境からの距離別の3バッファ領域における森林減少率の動向とベトナム国内全体の動きはおおまかには同期しているが、特定地域、特定時期において森林減少率が高くなり、さらにベトナム国境に近いほど森林減少率が高いことが確認できた(図5.3)。この地域には、ベトナム、ラオス、カンボジアの三国の国境地帯が含まれる。2010年の現地状況として、ラオス側からベトナムへ向けて、大量の木材運搬が行われていることが確認されている(日本森林技術協会、2010年8月17日調査)。このような林業活動が衛星データ解析の数値に反映されていると考えられる。このように、MODISデータによる大まかな地域傾向の情報は、その後の詳細な現地調査、社会動向調査の優先対象地を示す参考情報として、利用の可能性が期待できる。

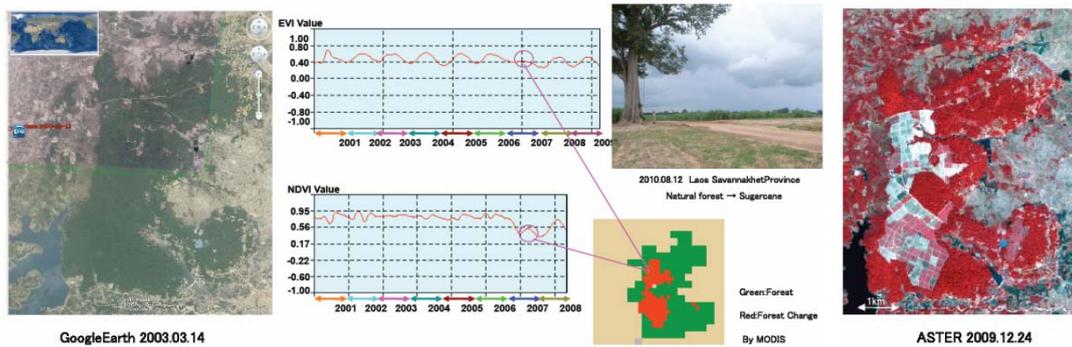


図 5.2 森林変化の例：2007年に天然林からサトウキビ畑に変化

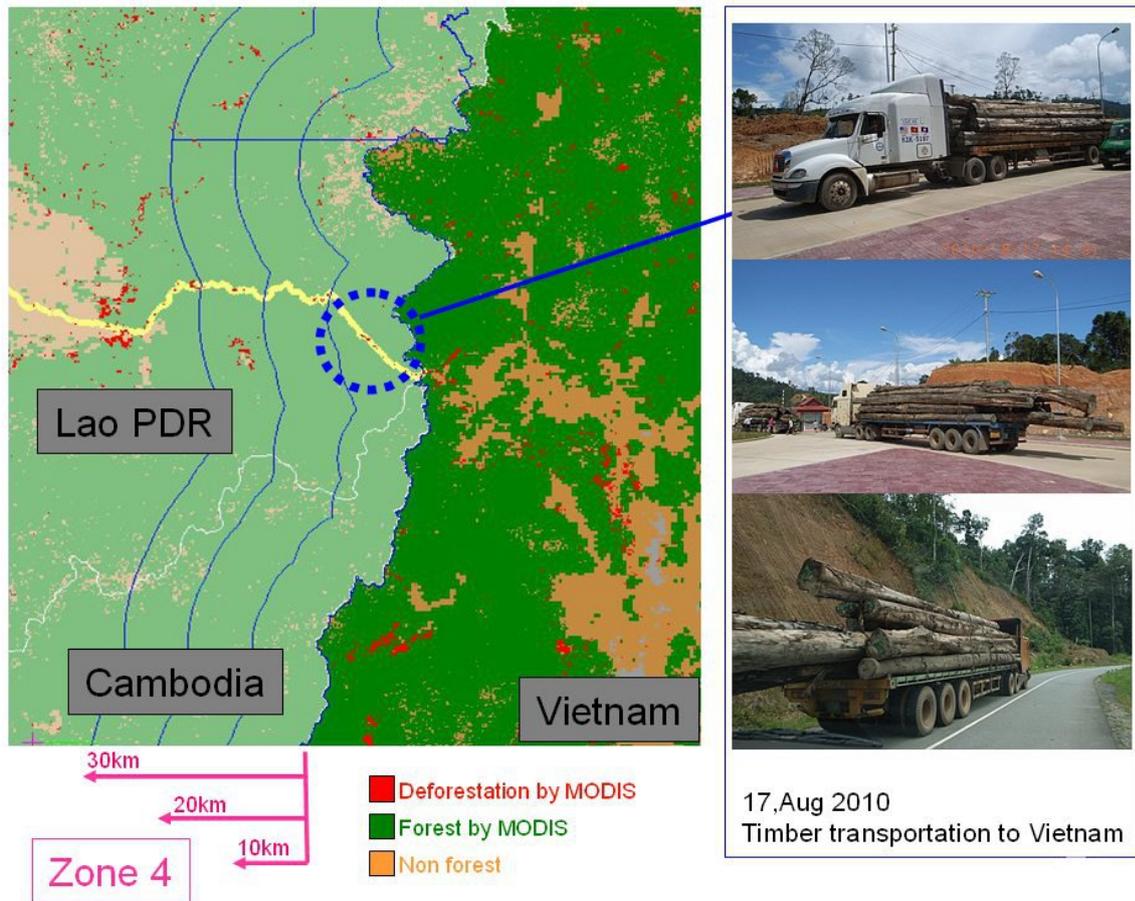


図 5.3 MODIS による国境付近の森林減少解析の例

REDD+メカニズムを推進する際の論点として、国内でのリーケージ（Leakage）を回避するために国境をバウンダリーとした国アプローチを UNFCCC では推奨してきた。しかし、陸続きで接している複数の国間でも REDD+メカニズムの推進による他国への影響がリーケージとして現れることも予見される。例えば国境付近に暮らす山岳民族などの場合、一方での森林減少抑制施策のため、他方に逃れて焼畑を行うなどのケースが考えられる。

本調査においてもリーケージを検討するための基礎情報として国境付近の森林減少を時系列的かつ地理的に把握する試みを行った。この結果、国境付近に近いほど森林減少が発生している事実が浮かび上がった。しかしながら、これらの森林減少がそのままリーケージであると解釈するのは早計である。なぜならばこれらの森林減少がベトナム側の圧力によって発生したものであるか、そもそも他国側で行われている活動であるかどうか衛星画像情報では読み取れないからである。リーケージの存在を議論するならば、これらの森林減少地域や面積を実態ベースとして把握しつつ、森林減少要因などと結び付けた調査が不可欠である。これらの調査は他国間にまたがる非常に繊細な問題であるため、両国政府が協働した取組によってのみ明らかになると考えられる。

## 5.2 活動データとしての統計データと NFI データの活用の可能性

この方法は費用と技術の面で負担の大きい森林地図 (GIS) を衛星データから作成するのではなく、現存する統計データ等を活用し、簡易な方法で、活動データとしての森林層化分類 (Agro-Eco-Region 及び Bio-Eco-Region) 毎のタイプ別森林面積 (以下、「統計値等による推計森林面積」とする。) を求める試みであった。

推計は、① 統計書から、1990 年～2010 年まで 5 年ごとに、つまり 5 時点の省単位での人天別森林面積を把握 (統計数値の無い時点は推計) し、② FIPI が実施した森林資源調査 (NFI) のサイクルデータから各調査時点の省毎の森林タイプ別のサブプロットデータ数の比率を求め、③ ②に①の省別の天然林合計面積を掛け合わせ、④ 森林タイプ別面積を省別エコリジョン別に集計する手順方法で進められた。

次に、上記の手法による活動データ (統計データと NFI データを用いて按分集計されたデータ) から得られる統計値等による推計森林面積を本開発調査で整備された森林分布図の森林面積を真値と仮定<sup>3</sup>し比較することで検証を試みた。

二つの異なる AD から得られる森林面積を比較検証するに際して、はじめに、12 カテゴリーの森林タイプを①常緑林 (森林タイプコード 1～3)、②回復林 (森林タイプコード 4)、③その他林 (森林タイプコード 5～11)、④プランテーション (森林タイプコード 12) の 4 つの区分に集約した。

また、森林面積データの比較は、上述の 4 つの集約森林区分毎に、行と列が各々、時点 (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 年) と Agro-Eco-Region から成る集計面積マトリックス表を作成し、両データの面積乖離率を算定することで解析した。

以上によるデータを解析すると、「統計値等による推計森林面積」データには、結論から述べれば以下のトレンドが読み取れる。

「統計値等による推計森林面積」のトレンド

- 1) 全森林面積の合計値が過去の時点ほど森林分布図の面積に比べて乖離が大きい。
- 2) 同一時点かつ同一の集約森林タイプ内で地域毎に大きな面積乖離率のばらつきがある。
- 3) 時点間における森林面積の変化トレンドに一貫性が見られない。

1) については、ベトナム政府による森林面積統計の集計方法や統計値の持つ性格に関して精査

<sup>3</sup>森林分布図の森林面積を真値と仮定：森林分布図の元になった衛星画像データの森林・非森林の判読精度が高い精度 (約 90%以上) となっていることを根拠とする。

する必要があるものとする。本開発調査で得られた知見によると、統計値は、MONRE/DONREにより整備された5年毎のベースマップを基準として、各年のセンサスデータはMARDの下部組織であるFPDが集計した森林面積の増減値を根拠に集計されたものとなっており、本開発調査で整備された衛星画像データの判読による森林分布図から得られる各時点のスナップショット的な面積値とは性質が異なるものであると言える。

2) は、統計数値とNFIデータからの推計には限界があることを示している。これは、NFIデータのプロットの配置が元々全国を母集団として全国集計が一定の誤差の範囲に収まるよう設計された資源調査データを省毎の推計に用いることに起因していると考えられる。

3) は、全森林タイプの積み上げグラフ集計では森林面積変化のトレンドは、森林分布図の面積変化と同様に、一様に増加しているように見えるが、常緑林や回復林、その他林の集約森林タイプ別の積み上げグラフ集計では、より顕著に森林面積変化のトレンドに一貫性が無いことが読み取れる。これは、本推計法で「森林タイプ毎のサブプロット合計と全サブプロット数合計から算出した比率と地域全体での森林タイプ毎の面積と全森林面積合計との比率が同一」という仮定が必ずしも適合していない可能性があることや、上述の1) や2) の原因が複合して現れた結果と考察する。

以上から、本開発調査で試みた「統計値等による推計森林面積」は不確実性が高く、また、森林分布図の森林面積（真値と仮定）との相関性が低いことから、この手法をそのまま適用してRELのベースとなる歴史的変遷（historical change）を捉えることは推奨できないと本調査においては結論づける。

上記の分析の結果のうち、REDDに多大な影響を与える常緑林の集計面積マトリックス表、散布図及びAgro-Eco-Region別の積み上げ図を以下に示す。

表 5.1 アクティビティデータの地域別・面積比較（常緑林<sup>4</sup>）（単位：1000ha）

	North West (1)	North East (2)	Red River (3)	Central Coast (4)	South Central (5)	Central Highland (6)	South East (7)	Mekong Delta (8)	Total
1990Map	416.76	931.30	4.90	1341.04	858.35	1327.66	231.48	18.98	5130.47
1990Stats	424.63	144.28	0.00	1504.81	854.11	1847.12	160.44	1.57	4936.96
Gap Ratio (%)	1.9	-84.5	-100.0	12.2	-0.5	39.1	-30.7	-91.7	-3.8
1995Map	384.21	857.27	4.41	1287.40	794.76	1248.80	220.08	12.01	4808.94
1995Stats	188.41	214.15	0.00	837.58	652.83	1108.47	148.27	15.30	3165.01
Gap Ratio (%)	-51.0	-75.0	-100.0	-34.9	-17.9	-11.2	-32.6	27.4	-34.2
2000Map	339.32	748.34	3.42	1248.71	740.10	1136.50	203.92	23.65	4443.96
2000Stats	166.16	99.61	2.04	914.89	772.02	1437.02	334.79	31.98	3758.51
Gap Ratio (%)	-51.0	-86.7	-40.3	-26.7	4.3	26.4	64.2	35.2	-15.4
2005Map	303.39	642.61	4.16	1181.00	683.49	1100.71	173.06	15.99	4104.41
2005Stats	457.76	462.29	0.48	1155.80	774.82	1734.06	272.93	36.74	4894.88
Gap Ratio (%)	50.9	-28.1	-88.5	-2.1	13.4	57.5	57.7	129.8	19.3
2010Map	296.82	574.65	4.45	1127.75	672.56	1056.55	165.12	6.76	3904.66
2010Stats	471.03	465.71	0.48	1219.21	771.31	1650.65	251.93	38.58	4868.90
Gap Ratio (%)	58.7	-19.0	-89.2	8.1	14.7	56.2	52.6	470.5	24.7

<sup>4</sup> 常緑林：ここでの常緑林は、17カテゴリーの森林タイプで1～3（常緑林 rich、常緑林 medium、常緑林 poor）を一つに集約したものを表す。

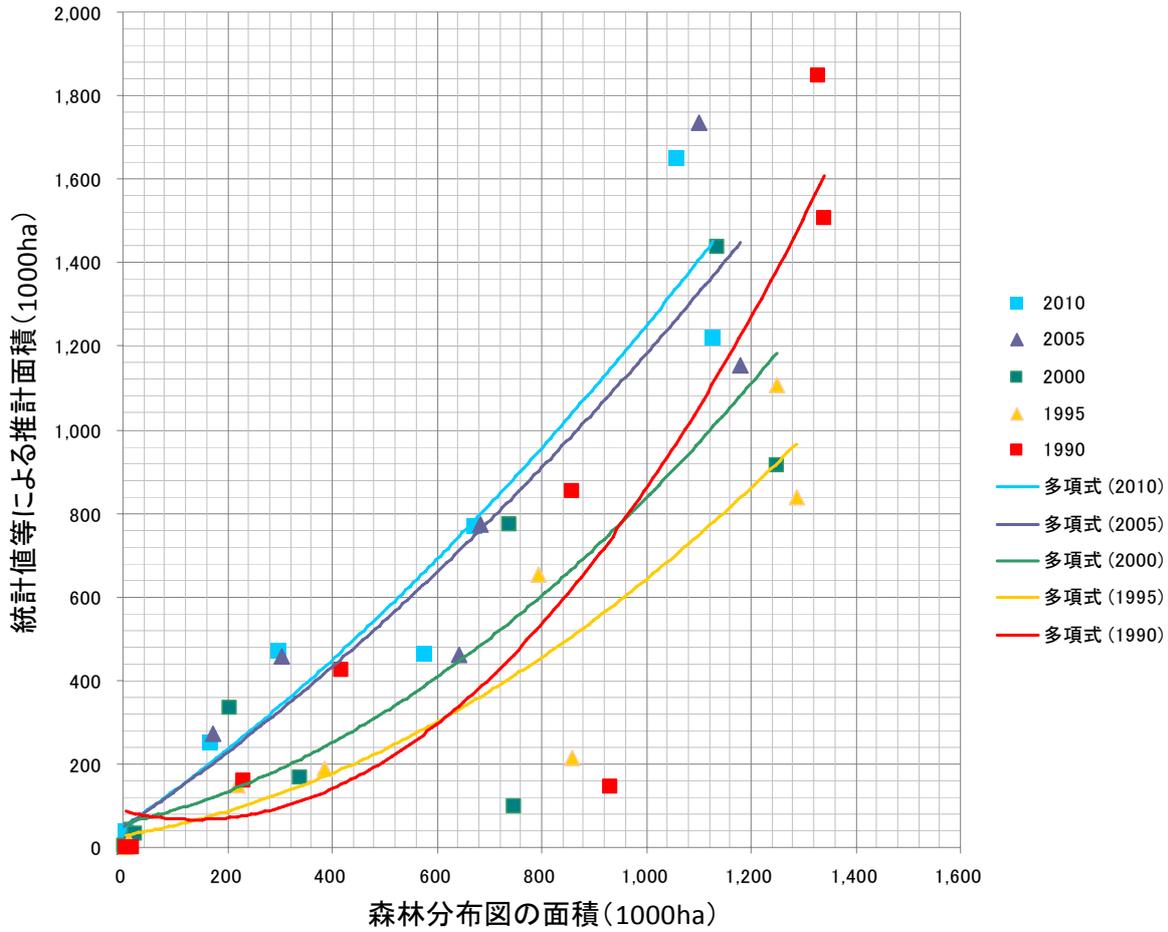


図 5.4 アクティビティデータの面積比較 (常緑林)

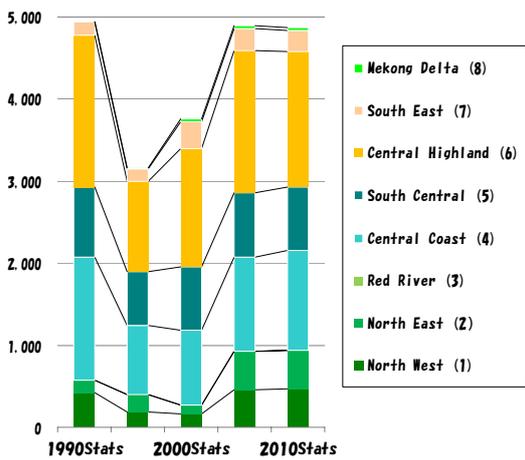


図 5.5 統計値等からの推計面積 (常緑林)

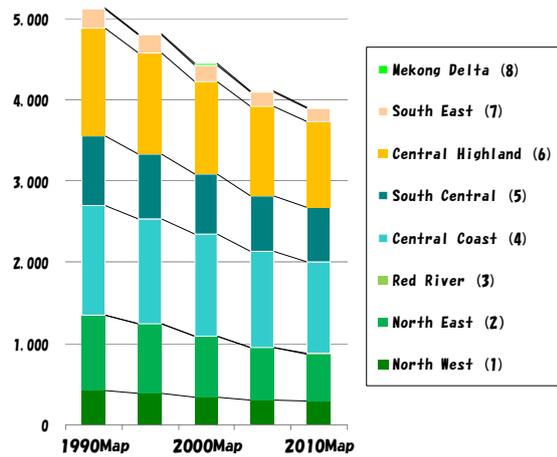


図 5.6 森林分布図からの面積 (常緑林)

## 6. 全国レベルでの主題図の作成

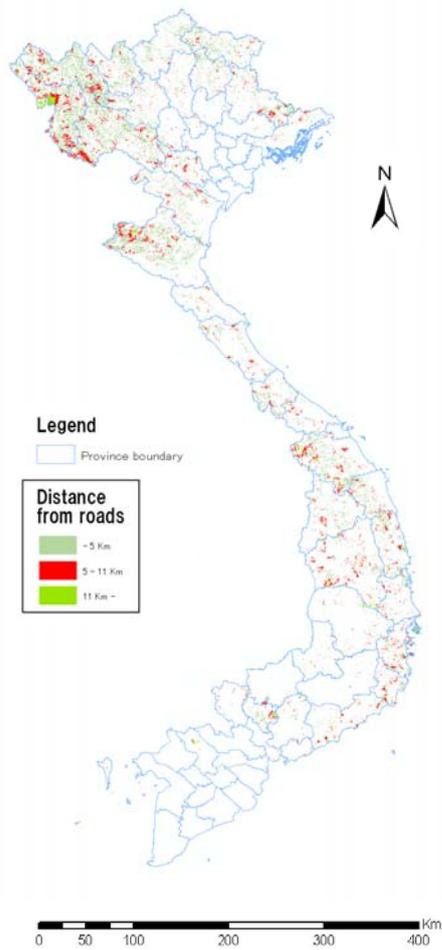


図 6.1 A/R CDM 適地選定図

A/R CDM 適地選定図について

この図は、2010年時点における A/R CDM 適地を道路距離によるランキング表示を行い主題（図中の赤色が適地を表す）とした図である。

具体的には、1990年森林分布図で非森林域（タイプ13～17）かつ2010年森林分布図で裸地（タイプ14）の個所を GIS のオーバーレイ機能で抽出し、更に、道路からの距離に応じて3つの区分にランキング色分けすることで調製。

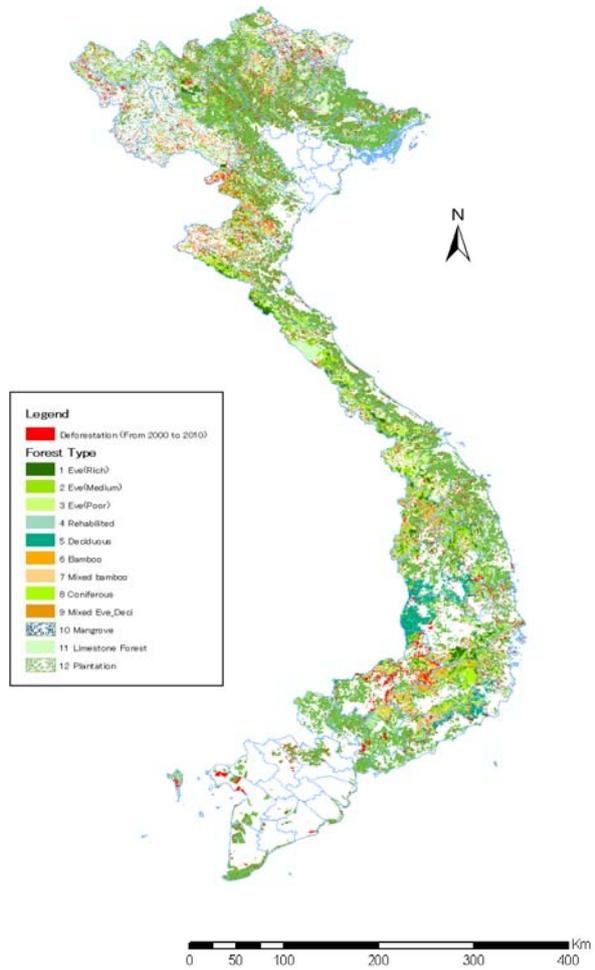


図 6.2 森林変化図（森林減少）

森林変化図（森林減少）について

この図は、2010年の森林分布図（森林域）を背景に、2000年～2010年の10年間における森林減少個所を抽出し主題とした図（図中の赤色が森林減少個所を表す）である。

具体的には、2000年森林分布図で森林域（タイプ1～12）かつ2010年森林分布図で非森林域（タイプ13～17）の個所を GIS のオーバーレイ機能で森林減少個所として抽出し調製。

## 7. 植林 CDM 及び REDD+ のコスト・ベネフィット分析

### 7.1 潜在的植林 CDM プロジェクトのコスト・ベネフィット分析

このセクションでは、第 6 章で示されたベトナム全土の潜在的植林 CDM 適地図で抽出された全ての適地において植林 CDM プロジェクトが実施された場合を仮定して、そのプロジェクト実施から生じる便益及びコストの試算を行う。全ての潜在的植林 CDM 適地を植林することは現実的ではないが、ベトナムにおける植林 CDM のポテンシャルを測る目的で全国レベルの総便益を試算した。

本調査では、中央の農業農村開発省（MARD）、地方の農業農村開発局（DARD）、ベトナム林業大学（VFU）、その他の関連機関において植林事業実施に関連する情報収集活動を行い、ベトナムの主要植林樹種について、生長量、造林コスト、販売収益についての事例データを取りまとめた。これらのデータと潜在的植林 CDM 適地図をベースにして CDM 植林実施によるコスト及び便益の試算を行った。

ベトナムは、地理的位置を基に 8 つの農業生態系区分（北西部、北東部、紅川デルタ、北中沿岸部、南中沿岸部、中部高原、南東部、メコンデルタ）に分けられている。2005 年 3 月 15 日付けの政府決定（Decision No.16/2005/QĐ-BNN）により、各生態系区で植林する際の奨励樹種が決められている。アカシア（*Acacia auriculiformis*）は全ての生態系区において奨励樹種に指定されており、本試算においても使うこととした。

(1) 植林 CDM 潜在的適地における植林 CDM プロジェクト実施による便益（クレジット等）の推計

植林 CDM プロジェクト実施による便益は、木材の販売による収益、及びプロジェクト実施による純人為的吸収量に基づいて得られるクレジット（CER）について推計する。

#### 1) 木材販売による収益

この推計では、15 年サイクルで 3 回の伐採を行うことを仮定している。本調査で収集したデータを基に、木材販売による収益の推計は以下の表に示される。

表 7.1 15年サイクルでの木材販売による1haあたりの収益の試算

年次	伐採	製品	伐採量(m <sup>3</sup> )	単価(USD)	収益(USD)
9	1回目間伐	チップ	6.53	28.80	<b>188.06</b>
13	2回目間伐	チップ	20.37	28.80	<b>586.66</b>
15	主伐	木材	107.85		
		C=40cm	26.96	42.50	1,145.89
		C=50cm	40.44	55.00	2,224.37
		C=60cm	40.44	62.50	2,527.69
		チップ	26.96	28.80	776.51
<b>Total</b>					<b>6,674.46</b>

2) クレジット (CER)

この試算では、早生樹種 (*Acacia auriculiformis*) を商業目的で植林した場合を仮定しており、クレジットの発生期間については30年間を選択し、クレジットの種類についてはtCERを選択してクレジットの試算を行うこととした。なお、補填義務については、購入者が負うことを前提として、この試算では扱わないこととした。

ベトナム林業大学によるアカシア (*Acacia auriculiformis*) の成長データを基に、二酸化炭素の純人為的吸収量は以下の表に示されるように推計した。

表 7.2 アカシア (*Acacia auriculiformis*) 植林地における1haあたり経年炭素固定量

年	幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)	地上部バイオマス (t.d.m./ha)	地上部炭素固定量 (tC/ha)	地下部炭素固定量 (tC/ha)	炭素固定量 (tC/ha)	現実純吸収量 (tCO <sub>2</sub> /ha)	ベースライン純吸収量 (tCO <sub>2</sub> /ha)	純人為的吸収量 (tCO <sub>2</sub> /ha)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.23	-16.23
1	2.00	1.44	0.72	0.24	0.96	3.51	16.23	-12.72
2	4.00	2.88	1.44	0.45	1.89	6.94	16.23	-9.29
3	6.04	4.35	2.18	0.66	2.84	10.40	16.23	-5.83
4	14.61	10.53	5.27	1.49	6.76	24.79	16.23	8.56
5	26.31	18.97	9.48	2.57	12.06	44.22	16.23	<b>27.99</b>
6	39.98	28.83	14.41	3.79	18.21	66.75	16.23	50.52
7	54.23	39.10	19.55	5.03	24.58	90.12	16.23	73.89
8	61.37	44.25	22.12	5.64	27.76	101.80	16.23	85.57
9	82.68	59.61	29.81	7.43	37.24	136.53	16.23	120.30
10	97.00	69.94	34.97	8.61	43.58	159.80	16.23	<b>143.57</b>
11	112.77	81.31	40.65	9.90	50.56	185.37	16.23	169.14
12	103.30	74.48	37.24	9.13	46.37	170.03	16.23	153.80
13	113.95	82.16	41.08	10.00	51.08	187.29	16.23	171.06
14	125.27	90.32	45.16	10.92	56.08	205.61	16.23	189.38
15	134.81	97.20	48.60	11.68	60.28	221.03	16.23	<b>204.80</b>

## (2) 潜在的植林 CDM プロジェクト実施にかかるコストの推計

植林 CDM プロジェクト実施にかかるコストは、造林活動にかかる費用、及び CDM のクレジット獲得のプロセスにかかる費用があり、それぞれについて、以下のように推計することとした。

### 1) 造林活動にかかる費用

本調査では、既存の植林活動に関する情報を収集し、これらのデータを基にして、植栽、保育、伐採等にかかるコストを推計した。

### 2) クレジット獲得のプロセスにかかる費用

1 件あたりの規模を 10,000ha とし、以下の項目についての 1 件当たりの費用を三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング等による既存の試算データから引用し、各生態系区分の総面積に対応する費用を推計した。

計画策定（初年度のみ）：

土地適格性証明のためのデータ（本調査のアウトプット）

環境影響評価／社会・経済影響評価：30,000US ドル（3US ドル/ha）

ベースライン設定：15,000US ドル（1.5US ドル/ha）

DOE による有効化審査（初年度のみ）：25,000US ドル（2.5US ドル/ha）

CDM 理事会へのプロジェクトの登録（初年度のみ）：10,000US ドル（1US ドル/ha）

モニタリング（初回以降 5 年おき）：30,000US ドル／回（3US ドル/ha）

DOE による検証・認証（初回以降 5 年おき）：25,000US ドル／回（2.5US ドル/ha）

## (3) コスト及び便益の分析

便益及びコストのデータを基に、まず、CDM 植林を実施する際の 1ha 当りの純益の推計を行った。追加性を証明する際の投資分析に関して、この試算では追加性を判断するパラメータを道路からの距離、及びその距離に基づく伐採現場から道路まで運搬するコストのみと考えた。植林地が道路に沿っている場合、伐採現場から道路までの運搬コストは安い。しかし、この距離が長くなると運搬コストは高くなり、この試算では、道路から 5 キロ離れた土地での植林活動による純益の現在価値はほぼゼロになった。従って、この試算では、植林活動が BAU で行われ得るのは道路から 5 キロ以内の植林地と考え、5 キロを超えた場所では CDM による植林活動の実施が純益の不足分を補う上でオプションであると考えた。道路からの距離がさらに遠くなると、CDM 植林の実施から得られる純益は減少し、道路から 11 キロ離れた場所における CDM 植林実施による純益の現在価値はほぼゼロとなった。従って、CDM による植林事業の実施は道路からの距離が 5 キロから 11 キロの間の場所では実現可能であると推定した。潜在的植林 CDM 適地図の解析の結果、植林 CDM 適用可能地における道路からの距離別面積の内訳は以下のとおりである。

道路からの距離が 5 キロ以内 :	2,436,806 ha
道路からの距離が 5 キロ～11 キロ :	804,411 ha
道路からの距離が 11 キロ以上 :	160,257 ha
植林 CDM 適用可能な土地面積 :	3,401,474 ha

この結果、植林 CDM プロジェクトの実施が可能な潜在的適地は 804,411ha と推定した。また、tCER の価格を 5US ドル/CO<sub>2</sub>t と仮定すると、30 年間における、1ha あたりの tCER からの利益は以下のように計算される。

5 年目及び 20 年目 :	139.94US ドル/ha
10 年目及び 25 年目 :	717.87US ドル/ha
15 年目及び 30 年目 :	1,024.01US ドル/ha

ベトナム国の全ての潜在的適地が植林された場合、tCER による利益は以下のように計算される。

5 年目及び 20 年目 :	112,569,275US ドル
10 年目及び 25 年目 :	577,462,525US ドル
15 年目及び 30 年目 :	823,724,908US ドル

ベトナム国における 30 年の植林 CDM 実施による便益の純現在価値は 243,909,997US ドルである。なお、伐採現場から道路までの木材の運搬にかかるコストに関し、道路からの距離を、CDM 植林の実施が可能と想定される 5 キロから 11 キロの範囲の中間を取り、8 キロとして計算した。

## 7.2 REDD の利益・費用分析

本節では、REDD+実施におけるコスト・ベネフィットについて、全国レベルでの簡単な試算を行う。

### 7.2.1 利益の試算

まず、ベネフィットの試算であるが、その前提を次のように規定する。UNFCCC 下の SBSTA においては、REDD のベネフィットの基礎となる RELs/RLs は、国情を考慮して設定することが議論されている。ベトナムにおいての国情を考える際に最も大きな影響として想定されるものは、661 プログラムであり、このプログラムには森林保全、森林回復、植林の各事業が組み込まれている。本来は、この国情を加味した RELs/RLs に基づいてベネフィットを試算することがベトナム国にとってより良いことは、認識しているが、国情の検討・分析は、未だ途についておらず、今後の検討課題となっているところである。なお、661 プログラムを国情として考慮するなら、661 プログラムの政策効果を適切に把握することが必須であるが、現状、UNFCCC が堅牢で透明性があると認定するまでの形ではだされていないと考えられる。逆に言えば、今後ベトナムでの国情を 661 プログラムに基づき勘案するなら、この性格効果を適切に把握する作業が必要になる。

したがって、本節においては、過去トレンドからの外挿した BAU=REL と仮定して、REDD ベネフィットを検討するものとする。

この節では、BAU と比較する現実シナリオとして、その最大値である排出がゼロになるとの前提に基づいて、利益試算を行うこととする。今回調査団が試算した全国レベルの REL 案のうち、過去トレンドの平均を採用した場合の 2015 年時点でのベンチマークの値は、331 MCO<sub>2</sub> トンである。

一方、『森林炭素市場の現状 2011 “State of the Forest Carbon Markets 2011”』に記載されている森林炭素市場の 2010 年の平均単価である 5.5 US\$/CO<sub>2</sub> トンを適用して、この 331 MCO<sub>2</sub> トンの掛け合わせると、1,820,500,000 US\$ となり、この数字を本試算での REDD 利益とする。

## 7.2.2 費用の試算

次に、試算した利益の前提となった 331 MCO<sub>2</sub> トンの排出に対応する森林の保全活動を REDD 活動として、その活動にかかるコストを以下のとおり試算する。

### (1) 森林保全活動費用

661 プログラムでの森林保全系活動の単価に基づいて、ha 当たり年当たり森林保全活動コストを 200,000VND/ha/年と設定した。一方、森林減少・劣化が起こる場所については、国の中のどこで発生するかを特定することは困難である。よって、上記の REDD 利益の試算の前提となる森林からの排出をゼロにすることを達成するためには、国中のすべての森林を保全するという政策が理論上は取られる必要がある。この前提に基づいて、同政策による保全活動のコストを試算した。本開発調査により作成された 2010 年の森林分布図によると、国の合計森林面積は、14,217,000 ha となっている。また、2012 年～2015 年までの 4 年間の活動費を計上することとする。

以上のことに基づき計算すると、

$200,000\text{VND/ha/年} \times 14,217,000 \text{ ha} \times 4 \text{ 年} \times 21,000 \text{ US ドル/VND} = 541,600,000 \text{ US ドル}$ となる。

### (2) モニタリング費用

2015 年にモニタリングを実施するという前提での費用として画像購入代、画像解析費、現地調査費（画像解析のための現地調査費用）からなる。それぞれの試算の前提と額は以下のとおり。

画像購入代：1,773,000 US ドル（141,800,000 円÷80 円/US ドル）

2010 年の森林地図は SPOT 衛星と ALOS 衛星を用いて作成されている。このうち SPOT 衛星の一部は MONRE からの提供によるものであり、不足している部分を本事業で補完した。このことから 2015 年のモニタリングに活用される衛星は SPOT や ALOS と同程度若しくはそれ以上の地上解

像度を有するものが必要と考えられる。しかしながら、2015年時点においてどの程度のSPOT衛星画像がMONREから供給されるか予想できないため、本試算では、コストを全国のSPOT衛星画像の購入費とした。試算に当たっては、全国土面積をSPOT画像の1シーン当たりの面積で割って、必要シーン数を算出し、その必要シーン数にシーン当たりの単価を掛け合わせて、コストを算出した。

画像解析費：163,000 US ドル

画像解析費は1990年以降の森林地図を作成した際のコストとした。このうち1990年の森林地図作成に要したコストを画像解析費として計上する。画像解析技術は目視判読を適用しているが2015年には半自動処理による効率的な手法が開発されることも予想され、ここで言うコストは2010年時点で使える技術に基づく解析費である。

現地調査費：300,000US ドル

画像解析にはトレーニングサンプルの取得、分類結果の現地修正、分類結果の検証といった三段階の現地調査が必要である。それぞれの費用を2名の技術者が10日～2週間の現地調査に必要な人件費として見積もった。3種類の現地調査コストを合計すると661,500 US\$と試算された。このうち現地調査が行われるのは森林地域のみであるため2015年時点の森林被覆率を45%と仮定(2010年時点で43%)する。以上より $661,500 \times 0.45 \div 300,000$ US ドルと見積もった。

### (3) トランザクション・コスト

トランザクション・コストとして、森林保全活動のトランザクション・コストとモニタリングのトランザクション・コストの2種類のトランザクション・コストを想定する。活動のトランザクション・コストとして、森林保全コストの10%及びモニタリングのトランザクション・コストとして、モニタリングコストの10%を計上する。

活動のトランザクション・コスト：  $541,600,000 \text{ US\$ドル} \times 0.1 = 54,160,000 \text{ US ドル}$

モニタリングのトランザクション・コスト：  $2,236,000 \text{ US ドル} \times 0.1 = 223,600 \text{ US ドル}$

この両トランザクション・コストを合算すると54,383,600 US ドルとなる。

以上の費用を総計すると以下の表のとおりとなる。

項目	金額
森林保全活動費	541,600,000 US ドル
モニタリング費	2,236,000 US ドル
トランザクション・コスト	54,383,600 US ドル
合計	598,219,600 US ドル

### 7.2.3 利益・費用の分析

上記の REDD 利益の総額の 1,820,500,000 US ドルから REDD 費用の総額の 598,219,600 US ドルを差し引くと 1,222,280,400 US ドルの余剰が発生する。

しかしながら、この数字は、上記のような前提に基づいてのあくまで試算数字であることに留意する必要がある。現実には、1) 森林減少をゼロにする（全森林を保全する）のは不可能なため、利益の数値は、本試算より過小になる、2) 本試算では、外挿方法に過去トレンドを平均するという方法を採用しているが、この方法が認められるかどうかは現状不明であり、回帰式等による外挿方法を採用することになった場合、ベンチマークとしての値が 331MCO<sub>2</sub> トンより過小になる。また、コストについても、本試算では、トランザクション・コストを他のコストの 10%で求めているが、これ以上かかり増しになる可能性もある。以上を勘案すると、必然的に上記の余剰は小さくなると想定される。

なお、最後に本試算でのコストを賄うための REDD 利益を試算する。本試算での総コストである 598,219,600 US ドルを 5.5US ドル/CO<sub>2</sub> トンで割ると、約 109MCO<sub>2</sub> トンとなる。つまり、2015 年のベンチマークの値より、109MCO<sub>2</sub> トンだけ森林減少・劣化からの排出を減少させることができれば、少なくとも試算上のコストはカバーできることになる。

## 8 モデルランド調査

### 8.1 背景と目的

ベトナムでは一般に森林減少および劣化の原因として 1) 森林のゴム園開発など大規模商業農地への転換、 2) 地域住民による小規模農業開発、 3) 非持続的な森林管理、 4) 森林資源の利用(木材、薪炭材など)、および 5) その他の開発 (道路や水力発電建設、移住、産業開発、鉱業開発など) の5つが挙げられている。

モデルランド調査の目的は、森林減少および劣化の現状を地域レベルで把握し、想定される REDD Plus に関わる活動の暫定的な実施により経済的な費用・便益とカーボン便益を試算することにより、温暖化緩和のポテンシャルを検討することである。

なお、モデルランド調査結果は、別冊子「The Economic Feasibility of Reduction of Emission from Deforestation and Forest Degradation in Viet Nam: Case Studies in Forest Conservation, Community Forest Management, Forest Plantation, and Rubber Development」として取りまとめられているので、詳細は同冊子を参照されたい。

### 8.2 調査の内容

事前調査の結果に基づき、モデルランド調査として以下の4つの調査が選定され、再委託により実施された。

	調査名	再委託先
1	ビンフック省におけるゴム園開発の緩和による森林減少・劣化からの排出量の減少	RCFEE, FSIV
2	ダクノン省における CFM の実施及び森林会社による森林管理の改善による森林減少・劣化からの排出量の減少	FSIV
3	ゲアン省における焼畑地域の造林開発	VFU
4	コンツム省におけるコミュニティの参加を通じた森林保全及び低インパクト伐採による森林減少・劣化からの排出量の減少	FSIV

### 8.3 調査方法

調査内容は、調査ごとに若干異なるが、全般的に以下の項目を含んでいる。

- (1) 調査地域の一般情報のレビュー
- (2) 森林減少の原因とその因果関係の考察
- (3) 社会経済調査

- 1) 森林減少のプロセスの特定
  - 2) 地域住民による天然林の利用、焼畑農業など現状の土地利用の関わる経済便益の試算
  - 3) 土地所有権の評価
- (4) REDD Plus に関わる活動の特定
- (5) カーボン分析
- 1) 森林タイプごとの森林減少の面積・材積量の数量化
  - 2) カーボンストックの変化量の数量化
  - 3) REDD Plus に関わる活動による経済費用・便益とカーボン便益の 試算
- (6) リークエージとリスク評価

## 8.4 結論と提言

### (1) ビンフック省におけるゴム園開発の緩和による森林減少・劣化からの排出量の減少

天然林の代わりにカシュー林をゴム林に植え替えるときの経済損失は、カーボン減少に補填されるカーボンクレジットよりはるかに大きいことが判明した。しかしながら、ゴム林開発コストの 37%(US\$3/CO<sub>2</sub>ton)はカーボンクレジットで補填でき、残りの投資は 7 年以降にラバー販売の収入の 1%に過ぎないことから、その実施は可能である。

本調査では、カシュー林の植え替えによるゴム林開発に関する全国レベルの調査（土壌条件、土地所有者の組織化、経済支援など）を実施し、その結果を REDD+の戦略に取り入れることを提案する。

### (2) ダクノン省における CFM の実施及び森林会社による森林管理の改善による森林減少・劣化からの排出量の減少

ダクノン省の第六村における CFM は、Nam Nung 森林会社に比較して単位面積当たり 2.8 倍の木材を生産しながら、カーボンの排出は約半分となっており、カーボンに換算すると 1m<sup>3</sup>の木材を生産するのに 120 CO<sub>2</sub>ton(3USD/CO<sub>2</sub>ton では 360 ドル)のカーボンの節約になっている。

本調査では、森林会社の所有する材積の大きい森林においてカーボンクレジットの利用により CFM を実施するための国家レベルの調査を実施し、その結果を REDD Plus の戦略に取り入れることを提案する。

### (3) ゲアン省における焼畑地の造林開発

調査結果により、カーボンクレジットによる焼畑地における植林は、Yen Na 村のように比較的交通の便がよく他の経済活動が盛んであり、焼畑自体の経済性の低い場所を対象にする方が、Luong

Minh 村のように焼畑を中心に生計を営んでいる遠隔地の焼畑よりも可能性が高いことが判明した。

本調査では、カーボンクレジットによる焼畑地における植林実施に関して、道路に近く生産性の低い焼畑の場所を特定するような全国レベルの調査を実施することを提案する。

#### **(4) コンツム省におけるコミュニティの参加を通じた森林保全及び低インパクト伐採による森林減少・劣化からの排出量の減少**

本サンプル村での CBFP モデルではカーボンクレジットの方が森林保全費用より高いことが判明した。つまり材積量 285m<sup>3</sup>/ha より大きい森林ではカーボンクレジットが森林保全費用を上回る。本調査では、このような材積の大きい森林において、REDD Plus スキームによる CBFP による森林保全を実施し、Decision 30A などの森林保全の予算を補填することを提案する。CFM モデルでは、伐採によるカーボン減少によりカーボンクレジットは少なくなるが、木材販売による利益により総収益は CBFP よりも 5 倍大きくなる。天然林の成長によるカーボンクレジットは木材の伐採の販売による純益の 23% を占めており、その多くは伐採しない部分の森林に由来している。

本調査では、CFM を森林保全と結び付けて実施し、REDD Plus のスキームにより森林の成長部分（カーボンの増加部分）をカーボンクレジットで支援することを提案する。

## 9. ディエンビエン省での REDD+開発に向けた基本計画の作成

ディエンビエン省における REDD+開発のための基本計画の目的は、ディエンビエン省での地域住民の生計向上や生物多様性を保持しつつ、REDD+メカニズムの開発に寄与するとともに、REDD+実施の実現に向けて REDD+パイロット活動の開発のプロセスを明確化することである。

また、REDD+パイロット活動の開発のためには、少数民族の生計向上や生物多様性を維持を考慮しつつ、REDD+活動のためのインセティブを関係者に提供することで、植林、森林保全、森林回復の面積を増加させ、かつそれらを維持するため森林ガバナンスを強化することが重要である。その強化のためには、クレジット支払いに対して潜在的に適格性を持つ REDD+パイロットの実施を通じて REDD+に関連する省等地方組織の能力が開発されることが不可欠である。同基本計画の策定は、その実施に向けたプロセスの一環であることから、策定そのものが能力開発の役割を持つことができた。

加えて、同計画の位置づけに関して、ベトナム政府は現在国家 REDD+プログラム（NRP）を策定中であり、NRP が正式承認された暁には、この NRP に基づく省レベルでの REDD+プログラムを策定する意図を持っていることから、同基本計画は、将来的に策定される省 REDD+プログラムの開発に寄与する準備段階のものとして策定される。

### 9.1 策定の方法論

本基本計画の作成に向けて、次のような手順及び方法を取った。

#### 1) 自然資源・社会経済調査の再委託での実施

省全体を対象とした各コミューンの二次データの取得、及び 40 コミューン 80 村を対象とした REDD+開発のための自然資源・社会経済調査を再委託で実施した。

#### 2) 日本人調査団員による現地調査の実施

再委託調査の監督を兼ねて、日本人調査団員による現地調査を再委託調査の補完的な意味あいでも実施した。

#### 3) REDD+に関する啓発ワークショップ（Awareness-raising workshop）の開催

REDD+に関する啓発ワークショップを省及び郡レベルの関係オフィサー（DARD, Sub-DoF, FPD, DPC, FPMB, NRMB）を対象に開催し、REDD+への理解を促進させ、本基本計画の必要性を認識させた。

#### 4) ディエンビエン省での REDD+開発のための基本計画の当初案の説明・協議のためのワークショップの開催

省及び郡レベルの関係オフィサー（PPC, DONRE, DARD, Sub-DoF, FPD, DPC, FPMB, NRMB）を対象にワークショップを開催して、基本計画の当初案として、REDD+活動に向けたディエンビエン省の森林動態を含めた自然資源・社会経済条件、潜在的 REDD+活動案、及び優先地域の選定方法について、説明し協議した。

#### 5) 優先地域の選定

REDD+活動をディエンビエン省で実施するに当たって、潜在的 REDD+活動案ごとにコミュニケーションを単位として優先地域を選定した。

#### 6) ディエンビエン省での REDD+開発のための基本計画の説明・協議

省及び郡レベルの関係オフィサー（PPC, DONRE, DARD, Sub-DoF, FPD, DPC, FPMB, NRMB）を対象にワークショップを開催して、ディエンビエン省での REDD+開発のための基本計画について、説明・協議する。

### 9.2 ディエンビエン省での REDD+開発のための基本計画

本基本計画は、以下のような構成となっている。なお、計画書本体は、英文報告書の別冊として取りまとめられているので、それを参照のこと。

- (1) ディエンビエン省での REDD+開発のための基本計画の目的
- (2) ディエンビエン省の REDD+に関連する自然及び社会経済条件
- (3) REDD+の実施に向けた条件
- (4) 森林政策／プログラム及びディエンビエン省の組織体制
- (5) ディエンビエン省の潜在的 REDD+活動案
- (6) 各潜在的 REDD+活動の優先地域
- (7) 潜在的 REDD+活動の実施に向けての郡の分類
- (8) REDD+活動の法的関与
- (9) REL/RL 案の設定に向けてのオプションの提案
- (10) 実施に向けての準備（MRV、BDS に向けた森林モニタリングシステム、BDS、パイロットエリアでの REDD+活動実施の枠組み）
- (11) セーフガード
- (12) REDD+活動実施上の課題と提言

## 10. ディエンビエン省での森林炭素量の推定のための方法論の開発

10章では、ムオンネ自然保護区（Muong Nhe Nature Reserve : MNNR）における90プロットの標準地調査と優占樹種のバイオマス調査の結果に基づく、単木レベルのバイオマスを求める回帰式と拡大係数の開発について説明する。また、開発した式や係数と毎木調査データを用いて、MNNRの森林バイオマスと炭素貯留量の推定について説明する。さらに、単位面積あたりの林分蓄積から単位面積あたりの林分のバイオマスを求める係数の開発について説明する。

まず、拡大係数、R/S ratio、バイオマス回帰式開発に必要なデータ取得のためにMNNRで行った90プロットの標準地調査と優占3樹種30本の伐倒調査についての詳細は以下のとおりである。90プロットの標準地調査の結果、常緑広葉樹林（poor）、常緑広葉樹林（medium）、常緑広葉樹林 rich（以下「poor」「medium」「rich」）の各森林タイプにおいて、*Castanopsis indica*、*Schima wallichii*、*Engelhardtia roxburghiana*、*Aprosa didoica* がプロットの構成種の63%~73%を占めていた。この結果に基づいて、伐倒調査対象樹種は、上記4樹種の内有用樹種である *Castanopsis indica*、*Schima wallichii*、*Engelhardtia roxburghiana* とすることにした（以下、「*Castanopsis*」「*Schima*」「*Engelhardtia*」）。*Castanopsis*、*Schima*、*Engelhardtia* をそれぞれ10本、合計30本を伐倒調査した結果、得られた拡大係数は、*Schima* が1.12~1.62（平均1.31）、*Castanopsis* が1.25~1.59（平均1.40）、*Engelhardtia* が1.17~1.39（平均1.27）、であった。3樹種のR/S ratioは、*Schima* が0.18~0.21（平均0.20）、*Castanopsis* が0.17~0.21（平均0.18）、*Engelhardtia* が0.17~0.31（平均0.24）であった。また、伐倒調査で得られた供試木のバイオマスは、胸高直径との間に相関関係が見られた。バイオマスの測定値に  $y = aX^b$  のモデルを適用したところ、各樹種とも樹幹バイオマス、地上部バイオマス、全器官の総合バイオマスと胸高直径の間で相関が強いことが示された（ $r = 0.95 \sim 0.99$ ）。

次に、上記で得られた回帰式と拡大係数についてその長所短所を検討した。伐倒調査の供試木の地上部バイオマスを拡大係数法と回帰式によって推定し実測値と比較したところ、拡大係数法を使用した場合地上部バイオマスが過大推定される場合があった。このため本開発調査では回帰式を用いてMNNRの森林の地上部バイオマス推定を行うこととした。上記の結果を受け、90プロットの全立木について、回帰式を用いて地上部バイオマスを、R/S ratioを用いて地下部のバイオマスを算出した。それら全立木のバイオマスをプロットごとに集計し、さらに各プロットのhaあたりの地上部、地下部バイオマスに換算した。その結果、地上部バイオマスがpoorでは平均92t/ha、mediumでは平均164t/ha、richでは平均205t/haとなった。地下部バイオマスはpoor、medium、richでそれぞれ18t/ha、33t/ha、40t/haとなった。さらに、推定された地上部および地下部バイオマスに炭素係数0.47をかけて、各プロットのhaあたりの炭素貯留量を試算した。その結果、各森林タイプの炭素貯留量は、poorで地上部43t/ha、地下部9t/ha、mediumで地上部77t/ha、地下部15t/ha、richで地上部96t/ha、地下部19t/haと算出された。

また、現地技術者が容易に森林のバイオマスを推定する方法を確立することを目指して、haあたりの地上部バイオマスを林分蓄積から直接推定する係数を開発した。まず、上述のとおり算出し

た各プロットの ha あたりの地上部バイオマスと ha あたりの蓄積で除することでバイオマス変換拡大係数 (Biomass Conversion Expansion Factor ; 以下「BCEF」) を算出した。各プロットの蓄積と算出された BCEF の関係は、蓄積 50m<sup>3</sup>/ha 付近では BCEF1.6 に近い値を示すが、蓄積が徐々に大きくなるにしたがって BCEF は低い値になり、蓄積 300 m<sup>3</sup>/ha 付近では BCEF0.7 にまで下がった。この関係は累乗近似を示し、 $y=aX^b$  のモデルでは  $BCEF=4.4757* (\text{蓄積})^{-0.3}$  と表され、 $r^2=0.6351$  であった。BCEF 開発結果の利用にあたっては、BCEF の近似式に NFI などの蓄積を代入して対象地に適合した BCEF を直接求めるか、今回算出された BCEF を蓄積階によって区分したうえ平均値を求めるなどして利用することができる。また、ha あたりの地下部バイオマスを ha あたりの地上部バイオマスで除することで、ha あたりの地下部バイオマスを推定する R/S ratio<sub>ha</sub> を算出した。算出された R/S ratio<sub>ha</sub> と ha あたりの地上部バイオマスの関係は、地上部バイオマスが増加しても R/S ratio<sub>ha</sub> は 1.96 前後で変化が少なかった。R/S ratio<sub>ha</sub> については、現時点ではどの地上部バイオマスレベルにおいても 1.96 を一律に適用できると思われる。

さらに、本開発調査において開発した係数や回帰式の高精度化のために必要な点について、今後の課題としてまとめた。本開発調査において開発した、単木レベルのバイオマス回帰式、ha あたりのバイオマスを推定する BCEF および R/S ratio<sub>ha</sub> は、MNNR で行われた伐倒調査と標準木調査から求められたものであり、ディエンビエン省およびベトナム国北部の常緑広葉樹林の現状に即し、同地域のバイオマス推定に応用できよう。ただし、今回の開発調査で開発した単木レベルのバイオマスの回帰式は、Castanopsis、Schima、Engelhardtia の 3 樹種の伐倒調査から求められたものであり、3 樹種の情報のみでその他の樹種の地上部バイオマスを推定している。この回帰式の精度を高めるためには、林分構成樹種のうち優占種上位 6 種から 10 種について追加調査を行うことが望ましい。また、標準地調査においては、蓄積が 50m<sup>3</sup>/ha 未満および 300m<sup>3</sup>/ha 以上の林分についてデータが十分とはいえない。本開発調査では ha あたりの地上部バイオマスを推定する BCEF を開発したが、上記の条件の林分のデータを追加することで、その精度を高められる。本開発調査で調査対象としていない回復林 (re-growth forest) は、常緑広葉樹林の poor と蓄積など量的な面では類似しているが、樹種構成など質的な面では異なると思われる。そのため回復林については、別個にバイオマス回帰式や各種係数を開発する必要がある。また、同じく本開発調査で調査対象としていない竹林についても、別個に調査が必要である。

最後に本調査成果の活用と今後の展開についてとりまとめた。森林炭素蓄積の評価には森林タイプ別分布図とそれに対応した単位面積あたりバイオマス量のデータが必要になる。この二つの要素の推計精度を高めることにより不確実性が低い森林炭素蓄積が算出でき、結果として頑健な手法に基づく REDD+ measure が構築できることとなる。そのことから、単位面積あたりのバイオマス量を精度高く推計することは重要な要素であり、本調査成果から北部地域での推計係数を得ることができた。今後はこの係数が中部地域や南部地域における常緑広葉樹林でも利用可能かどうかを検証することにより、国レベルでの排出係数開発で高い Tier を目指すことができる。一方、ディエンビエン省における住民参加型の森林炭素モニタリングなどの試行が始まると考えられ、その際に本調査で得られた係数を活用した森林炭素蓄積の推計が可能である。更に、ディエンビ

エン省の特徴である回復林の増大という状況を加味し、先に述べたような追加的調査を実施することにより様々な森林タイプに対応した排出係数の整備ができるであろう。

## 11. 潜在的投資者に対する情報提供

### 11.1 アンケート調査の結果

企業アンケート調査の目的は、潜在的投資者としての可能性のある企業が、投資を行うに際して、現状どのような事業実施障壁・問題を抱えているのかを把握し、それら障壁・問題の解決に向け、本件開発調査のホームページでの情報発信内容を決定するために行うものであった。

主に日系企業を対象に 1) 事業そのものを実施する投資者、2) 事業投資者に対する技術サービスを提供するコンサルタント、3) 事業から発生するクレジットの購入者の 3 つのタイプに分けて、アンケート調査を計画・開始した。

回答を得た 10 社等の内訳は、事業投資者対象が 6 社、コンサルタント対象が 3 社等、クレジット購入者対象が 3 社となっている。なお、同じ社が、事業投資者対象アンケートとクレジット購入者アンケートの両方に回答している場合があるので、内訳の合計は 10 社等にならない。アンケート結果については、おおよそ以下のとおりであった。

事業投資者及びコンサルタントの合計 9 社等のうち、5 社等以上が該当すると回答した項目は以下のとおりであった（**ボールド**と斜体で示す）。

#### 1 事業構築への障壁に関する質問

##### (1) 情報面

##### 1) 政策に関する情報

- **森林分野の気候変動対策事業に対するベトナム政府の政策支援（補助金や税優遇等）の情報の有無が確認できない**
- **森林分野の気候変動対策事業に対する日本政府の政策支援（補助金や税優遇等）の情報の有無が確認できない**

##### 2) 事業実施地域の選択のための自然条件に関する情報

- **気象関連の情報が入手できない**
- **土壌条件の情報が入手できない**
- **災害リスクの情報が入手できない**
- **適性樹種に関する情報が入手できない**

##### 3) 事業実施地域の選択のための社会経済条件に関する情報

- **土地所有権の情報が入手できない**
- **土地所有権とは異なる実際の土地利用権の情報が入手できない**

##### 5) NGO 等協力して事業を担う可能性のある団体に関する情報

- **植林等炭素蓄積促進事業を実施できる能力のある NGO 等団体に関する情報が入手できない**

##### 6) 必要資金額に関する情報

➤ 表面に表れないコストの有無とその額に関する情報が入手できない

7) ベトナム政府からの情報

➤ どの役所のどの部署にいけば欲しい情報があるのか分からない

(3) 制度面

1) A/R CDM に関すること

➤ 非持続性に伴う補填義務

2) REDD に関すること

➤ 制度自体が定まっておらず、現状事業実施に向けて行動を開始するのは、リスクが大きい

➤ 森林減少・劣化の抑止の効果を証明するモニタリングが難しそう

この他記述回答では、情報面について、①REDD に関するベトナム法令状況、②他の参考になる REDD イニシアティブ状況、③REDD プロジェクト投資のための手順／スキーム／モデルケース、④排出権クレジット移転のメカニズム、⑤REDD プロジェクト実施の為のベトナム側コンタクト窓口、⑥現地 NGO、コンサルタント等プロジェクト実施に向けたサービス提供者の状況、⑦外国企業が植林地を確保できるかどうか、⑧人民委員会の意向、地域住民の意向、⑨植林木の伐採/林産物利用に係る許認可、費用などの情報といった、法令、制度、行政、社会条件等のようなものから、①REDD プロジェクト実施に向けた適地情報（面積、土地所有権、森林減少に関する状況、周辺コミュニティの状況等）、②1990 年以降現在までの土地利用変化と植生区分の地図情報、③既存植生の成長予測、といった自然状況等のようなものまで様々な情報が必要であることが見て取れた。

また、REDD 事業の事業性に関しては、どの程度排出権収益が見込めるかという視点から、①参照レベル (REL)、②ベトナム REDD 法令で定める排出権収益の分配規則といったことの重要性が指摘されている。また、森林保全に必要な具体的なプログラム（地域コミュニティにおける森林伐採に寄与する具体的な事業等）の具体例と必要な資金についての情報の必要性についても指摘されていた。一方、個別のプロジェクトにどのようにクレジットが配分されるのか、その方向性がわからないと個別のプロジェクト開発は困難であるという指摘もあった。

さらに、ベトナム国の問題ではなく、以下のような国連で交渉されている制度自体に対する不満が見て取れる意見があった。

- コンプライアンスグレードの排出権に関する制度、需要が固まらない限り、CSR 目的を超えた REDD 事業は困難である。
- ベトナム国の問題よりむしろ国連 EB の問題が大きく、審査時間の短縮や評価方法の簡略化等がなければ事業を進めるのが困難である。
- 2013 年以降の取り決めがない現状において、事業を進めることは困難である。

このようなことから、結論的には、現状では、通常の投資案件に比べて、不確定要素が多すぎ、その不確定要素も、国際交渉に左右され、かつ、炭素市場が立ち上がっていないなどの企業の努

力では解決できない外的環境要因が多く、意思決定の対象案件にはあげにくいということと想定される。ただ、長期間確実に事業が実施できる体制・環境が確立できること、得られたクレジットが確実に売れること（少なくとも大損はしない）、補てん義務等の問題が解決できれば参入事例が増える可能性もあると考えられる。

次に、クレジット購入者へのアンケート結果で、該当が多かった項目は以下のとおりである。

#### 1 クレジット購入への障壁に関する質問

##### (1) 情報面

##### 1) 政策に関する情報

➤ **森林分野の気候変動事業のクレジットを購入した場合の日本政府の政策的インセンティブ（税金優遇等）の情報の有無が確認できない**

##### 2) 必要資金額に関する情報

1 クレジット（CER等）当たりの購入金額（含む変動幅）の情報がない

##### 3) ベトナム政府からの情報

➤ **CER等森林分野のクレジット購入に関する政府情報が入手できない**

##### (4) リスク管理面

➤ **非持続性により購入者がクレジット補填をする場合は、その補填をしなければならないこと**

記述回答では、REDD+プロジェクトから発生するクレジットの制度上の有効性、究極的には、日本国内で目標遵守に使用できるかどうかというような意見が多くあった。

以上のことから、非持続性（AR-CDM）やクレジット所有権の問題（REDD）といったリスク面から購入を躊躇することが見て取れる。

## 11.2 ホームページのコンテンツ

本件調査における「潜在的投資者に対する情報提供」コンポーネントの最終成果の一つであるホームページのコンテンツについて記述する。コンテンツ案は、11.1 で記載したアンケート調査の結果、回答頻度の多かった項目に基づき検討された。また、記述回答の中には、より具体的で的確な回答もあることから、これらについても精査して、同コンテンツの候補として検討した。さらに、アンケート結果以外にも、本件調査を通じて得られた情報・成果のうち、調査団が有用と判断したものについても、コンテンツに加えることとした。以上に基づき、以下の図に示した構成のホームページを立ち上げた。ホームページは <http://www.jpn-vn-redd.org> から閲覧が可能である。

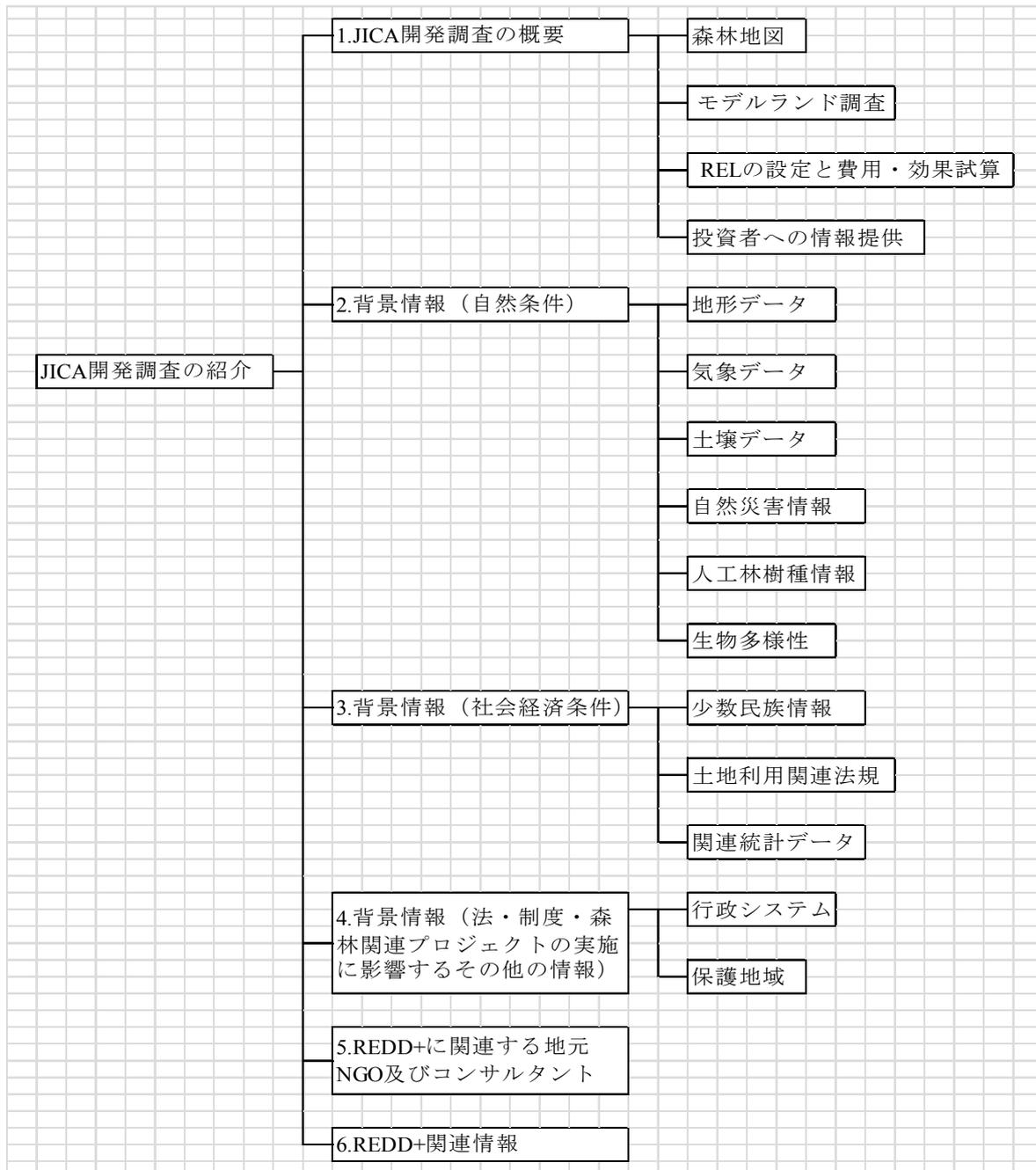


図 11.1 ホームページの構成

### 11.3 REDD+実施に向けたセミナー等

REDD+とその活動についての潜在的投資者に向けて、調査期間中に3回のワークショップを開催した。ワークショップ及びセミナーは潜在的投資者の REDD+関連の知識の向上のために行われた。まず、2010年10月にモデルランド・サーベイのワークショップを開催した。NGOや関連政府機関を含めて20の団体から27名が参加した。ワークショップは炭素量測定から社会経済分析及び政策分析を含めた広範囲の分野を内包した。より良い REDD+を実施するために多くの専門分野を内包していくべきである。

次に潜在者投資人や REDD+に興味のある人のために、東京においてベトナムでの REDD+活動実施促進セミナーを 2011 年の 10 月に開催した。81 名の参加者があり、25 の企業、8 つの官公庁、7 つの NGO、6 つの大学が参加した。このセミナーの目的は今までの開発調査のアウトプットを説明した。また、ベトナム本国より、MARD の副大臣や VNFOREST の官吏が来賓として参加し、ベトナムにおける REDD+の現況と将来的な方向性を発表した。多くの有用な意見が出て、活況を呈した。

また、NFI データの認証の技術ワークショップを 2011 年に開催した。14 の組織から 30 人が参加し、野外調査に基づく NFI データの検証結果について議論した。