

気候変動緩和策としての REDD+ の役割*

山本裕基[†]・竹内憲司[‡]

2011年1月4日

概要

本稿では、途上国における森林保全を通じた気候変動対策の仕組みである、REDD+ に関する経済学的研究の概観をおこなった。REDD+ の費用と効果について検討した既存研究をボトムアップ分析とグローバルモデル分析とに分け、森林保全の程度を左右する機会費用の推定や、炭素価格の設定に応じた年間の炭素蓄積量についてまとめた。また、REDD+ の制度設計において鍵となるテーマとして、モニタリング、ベースライン、リーケージ、非持続性、資金供給メカニズムを挙げ、その経済学的な含意を考察した。さらに、REDD+ によって大きな資金提供を受ける可能性のあるインドネシアを取り上げ、現時点までに展開されている試行プロジェクトを概観し、今後 REDD+ を具体的に展開する際に考えられる課題について検討した。

* 本稿の一部は、JST/JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) プロジェクト「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」(プロジェクトリーダー: 大崎 満北海道大学教授)の下でおこなわれた調査に基づいている。当該調査および本稿作成のための基礎的な情報収集にあたっては、橘 永久(神戸大学准教授)、Aswin Usup(パランカラヤ大学教授)、Ferra Tusthenes の協力が大きな助けとなった。記して謝意を表したい。

[†] 神戸大学大学院経済学研究科博士課程前期課程

[‡] 神戸大学大学院経済学研究科准教授 takeuchi@econ.kobe-u.ac.jp

1 REDD+ の背景と目的

REDD+(レッドプラス : Reducing Emissions from Deforestation and Degradation, and foster conservation, sustainable management of forests, and enhancement of forest carbon stocks) とは、途上国において森林減少・劣化にともなう二酸化炭素の放出を削減すること、森林保全、森林の持続的管理、森林炭素蓄積量の拡大を促すこと、およびそれらにインセンティブを与える仕組みのことを指す。森林は地球上でもっとも重要な炭素の吸収源であり、光合成を通じて大気中の二酸化炭素を有機物に固定している。したがって森林が減少することは、固定されていた二酸化炭素がふたたび大気中に放出されることを意味する。IPCC (2007) によれば、森林減少を原因とした二酸化炭素排出量は、全世界で年間 1.6 ギガ炭素トンに達する。これは地球上の温室効果ガス全排出量の約 20 % に相当し、交通部門からの排出割合を上回っている。

これまでの気候変動緩和策では、京都議定書において先進国のみに対して温室効果ガスの削減目標が定められたことに象徴されるように、どちらかと言えば、先進国における排出削減や省エネルギー推進に焦点が当てられてきた。しかしながら、森林が二酸化炭素の固定に果たす大きな役割や、世界全体での森林減少のスピードを鑑みると、途上国の森林分野においても、今後よりいっそうの取り組みを進める必要のあることは明らかである。森林減少による排出量をカウントすれば、インドネシア、ブラジル、マレーシアといった国々は、総排出量でロシア、日本、ドイツといった先進国と比肩するレベルの温室効果ガス排出国となる可能性がある (Myers Madeira 2008)。

REDD+ は、途上国における LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry : 土地利用、土地利用変化、林業活動による温室効果ガスの排出部門) 活動の 1 つと言える。京都議定書は、第 3 条 3 および 4 において、LULUCF における 1990 年以降の先進国における植林活動が先進国の目標遵守に参入できることを定めている。また、途上国における新規植林と再植林も、COP 7 以降、吸収源 CDM (Clean Development Mechanism : クリーン開発メカニズム) として認められるようになった。REDD+ は、途上国を対象としている点、そして森林減少や劣化そのものを食

い止める行為を対象としている点で、これまで認められてきた LULUCF 活動とは異なった特徴を持っている。

REDD+ が気候変動に関わる国際交渉の中で取り上げられるようになったのは、近年になってからである（以下の国際交渉に関する経緯は、Bellassen et al. 2008；渡辺 2009 を特に参考にした）。1992 年に採択された国連気候変動枠組条約は、バイオマスや森林などの吸収源および貯蔵庫について、すべての締約国がその持続可能な管理と保全に協力することを求めている。1997 年に開催された第三回国連気候変動枠組条約締約国会議（The Third Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC COP3）では、先進国の温室効果ガス排出削減目標を定めた京都議定書が採択され、先進国における 1990 年以降の新規植林と再植林と森林減少（afforestation, reforestation and deforestation）を、約束履行において算定することが盛り込まれた。

2001 年の COP7 で成立したマラケシュ合意では、新規植林と再植林（afforestation and reforestation）を CDM の対象とすることが認められた。CDM は、先進国が資金提供や技術協力を通じて途上国における温室効果ガスの排出削減に協力する枠組みであるため、この合意は、気候変動緩和策としての途上国の森林保全を促進する一歩と言える。しかしながら植林活動は、省エネルギーのための設備投資やフロンガスの減少など他の CDM と比べて割高であるためか、CDM 登録件数全体に占める割合は、2010 年 12 月時点で 0.56 % と少ない（UNFCCC 2010）。また、森林減少（deforestation）の抑制による温室効果ガスの削減については、リーケージ（ある場所での森林保全が、別の場所での森林減少につながること）の問題が指摘され、適用が見送られることになった。

2003 年にミラノで開催された COP9 において、ブラジルの研究者グループらが、一国における過去の森林減少の傾向（ベースライン）と比較して、森林減少の抑制量に応じた炭素クレジットを途上国が受け取れる「補償的削減（compensated reduction）」という概念を提唱した（Santilli et al. 2003）。補償的削減の概念を用いれば、少なくとも国内でのリーケージ問題は解決することができる。

2005年にモントリオールで開催されたCOP11において、コスタリカとパプアニューギニアは、熱帯雨林諸国連合（Coalition for Rainforest Nations：CfRN）を代表して、途上国による森林減少の抑制を通じた炭素クレジットの取得を提案した。この提案を受けて、REDD+は締約国会議の補助機関であるSBSTA（Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice）およびSBSTA下のワークショップで検討されていく。これ以降、REDD+は気候変動にかかわる国際交渉の中で急速に取り上げられるようになった。

2007年のCOP13で採択されたバリ行動計画では、締約国が「REDDに関連する問題への政策対応とインセンティブの提供、ならびに途上国における森林保全、森林の持続可能な管理、森林炭素貯留量拡大の役割」を考慮して、気候変動緩和に関する国内的・国際的な行動を進めることなどが決まった。バリ行動計画を1つのきっかけとして、それまで単にREDD（Reducing Emissions from Deforestation and Degradation）と呼ばれていた概念は、森林保全、森林の持続可能な管理、森林炭素貯留量拡大の役割も考慮に入れた概念、すなわちREDD+へと拡大し、定着していった。また、COP13では締約国と関連組織に、将来的な制度構築にとって有用な検証活動を実施することを求めた。そのような事例の1つが、世界銀行による「森林炭素パートナーシップ基金（Forest Carbon Partnership Facility）」である。^{*1}また、ノルウェー政府が5年間にわたって18億ユーロの支出を約束するなど、REDD+に関する財政的支援も具体化する動きがあった。バリ行動計画に基づいて、長期協力行動に関する特別作業部会（Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action：AWG-LCA）が設置され、REDD+に関する政策的な側面が議論されることになった。現在、REDD+に関する主な検討の場は、SBSTAおよびAWG-LCAの2つとなっている。

2009年のCOP15では、森林保全が気候変動緩和策として有効であるとし、REDD+の必要性

^{*1} 世界銀行の森林炭素パートナーシップ基金は、REDD+の試行プロジェクトを促進するための枠組みである。基金には、能力開発のための仕組みである準備基金（Readiness Fund）と、炭素クレジット購入のための仕組みである炭素基金（Carbon Fund）が設けられている。現在のところ37ヶ国がREDD+を実施する対象国として選ばれ、16の国や組織が3億4,500万ドルの財政的支援を表明している。

を再確認した。締約国が留意 (take note) することに同意したコペンハーゲン合意には、以下のような文言が盛り込まれている。「森林減少・劣化による温室効果ガス排出の削減が果たす役割の重要性と、森林による温室効果ガス吸収を強化する必要性を認識し、REDD+ などの制度をただちに創設して、こうした行動に対して積極的なインセンティブを与え、先進国からの資金調達を可能にする必要があることに同意する。」この文言自体はバリ合意とあまり大きく変わらないものの、COP15 では先進国からの財政的支援の具体化が進んだ。まず REDD+ だけを目的とした資金提供ではないが、途上国における緩和策、適応策、技術移転、能力開発を進めるため、2010 年から 2013 年の間に総計 300 億ドル、2020 年までに年間 1000 億ドルを目標とした支援をおこなうことが、コペンハーゲン合意に盛り込まれた。また、REDD+ に関する方法論上の課題をまとめた方法論的指針も採択された (FCCC/CP/2009/11/Add.1)。さらに、オーストラリア、フランス、日本、ノルウェー、イギリス、アメリカは、2010 年から 2013 年の間に、REDD+ の支援のために 35 億ドルの公的資金を拠出するとの共同声明を発表した。

コペンハーゲン合意が留意にとどまったのに対し、2010 年の COP16 では、上記の方向性を踏襲したカンクン合意が会議の成果として正式に採択された。カンクン合意には、先住民族の権利尊重を途上国に対して求めることや、SBSTA においてモニタリング方法決定などのための作業計画を発展させることも盛り込まれている。

以上のような国際交渉のプロセスを経て、REDD+ は徐々にその重要性を増してきている。また、いくつかの国際機関や NGO が、試行プロジェクトに取り組んでいる。しかしながら、これまでのところ具体的に REDD+ をどのような枠組みでおこない、どのようなインセンティブがどの程度与えられるかについては、まだ正式な決定がなされていない。その原因は、第一に、REDD+ を着実な温室効果ガス排出削減へと結びつけるために慎重な測定・報告・認証 (Measurement, Report, and Verification : MRV) の仕組みを構築する必要があり、これが途上国の現状を考えると容易ではないこと、そして第二に、REDD+ の制度設計によって先進国から途上国への所得移転の総額や、途上国ごとに与えられるインセンティブの大きさがかなり変わってくるため、どの国も納得するような内容の合意に到達するのが困難なことにあると考えられる。

本稿の課題は、REDD+ が気候変動緩和策において果たす役割についての、これまでの経済学的な研究成果を概観することにある。REDD+ に関する制度構築は、気候変動に関わる国際交渉を軸に、日々刻々と進められつつある。特に、2013 年以降の国際的枠組みの姿がまだ不明瞭な現状において、枠組みへの途上国の参加を促すインセンティブになりうる REDD+ の存在意義は大きい。したがって、制度の成果を左右する諸要素について、経済学的な観点からの検討をおこなうことは非常に重要であり、実際にもこれまである程度の研究蓄積が進められつつある。しかしながら筆者らの知る限り、REDD+ の制度的側面について解説した日本語の文献はいくつかある^{*2}ものの、これまでにおこなわれた経済学的な研究を概観した文献は見当たらず、論点の整理は十分に行き届いていない。そこで、経済学的な観点からおこなわれた REDD+ 研究について概観し、現時点における到達点をまとめておくことは、効果的な制度構築にとって少なからず有意義であると思われる。

続く第 2 節では、REDD+ の基本的な機能について解説をおこなった後に、その費用と効果を検討したこれまでの経済学的研究について、概観する。第 3 節では、REDD+ の制度構築にあたって、課題となる主な項目を挙げ、検討を加える。第 4 節では、REDD+ が実施される対象国の実例としてインドネシアを取り上げ、第 3 節で挙げられた課題とも照らし合わせながら、REDD+ の実行可能性について具体的に分析する。第 5 節はまとめである。

2 費用と効果

2.1 REDD+ の機能

現存する森林を保全することは、最も費用のかからない気候変動緩和策であると言われている (Nabuurs et al. 2007)。これまでいくつかの研究が、さまざまな炭素価格の想定下でどの程度の森林保全と炭素排出削減が実現できるかを検討している (Osafu 2005; Osborne and Kiker 2005;

^{*2} これまでに発表されている主な日本語文献としては、藤間他 (2008: Kanninen et al. 2007 の翻訳)、渡辺 (2009)、原田 (2010)、百村・横田 (2010)、平田 (2010) などがある。

Sathaye et al. 2005; Silva-Chávez 2005; Vera Diaz and Schwartzman 2005 ; Bellassen and Gitz 2008; Grieg-Gran 2006; Kindermann et al. 2006; Sohngen and Beach 2006; Kindermann et al. 2008; Strassburg et al. 2009)。本節では、こうした研究の成果について概観をおこなう。

REDD+ の基本的な機能は、途上国が森林保全に取り組むことで、維持・増加させた炭素量に応じて、先進国から経済的支援を得られるというものである。また先進国にとっては、支援を通じて達成された炭素蓄積量に応じて炭素クレジットを取得し、それを自国の削減成果として組み込むことができるという期待がある。こうした特徴から、REDD+ は気候変動緩和策をめぐる先進国と途上国との軋轢を解消する役割を担う可能性がある。

現在検討されている途上国への資金供給の仕組みには、大きく分けて、市場ベース方式と基金ベース方式の2つがある (Parker et al. 2009; Isenberg and Potvin 2010)。市場ベース方式は、REDD+ によって削減された炭素排出量をクレジットとして、先進国が炭素市場で取引することによって資金を調達する。基金ベース方式は、炭素市場を通さずに、途上国に直接的に資金を提供するものである。

途上国への資金は、過去の森林の土地利用の傾向から、対策が実施された場合の森林減少を「ベースライン」として設定し、対策が実施されなかった場合の森林状態との差に応じて支払われる。ベースラインの設定は、国ごとの利益を大きく変える可能性があるため、設定方法についてすべての国が合意に到達するのは容易ではない。より多くの資金提供を得るためには、現在の森林減少のスピードが深刻であることを強調した方が得策となる。もし対策がおこなわれなかったとしても木材価格の低下などによって現在よりも森林減少が抑制される可能性があるとする、現時点での森林減少率を用いることは、REDD+ の効果を過大評価することにつながる。これは CDM における追加性 (additionality) と同種の課題である。

REDD+ の仕組みが機能するためには、森林保全によって得られる資金が、農業や商業伐採などの森林開発によって得られる価値 (機会費用) を上回る必要がある。機会費用の大きさは森林保全に必要な炭素価格を左右するため、その推定は REDD+ の評価にとってきわめて重要である。機会費用の推定は、主に2つの方法で行われている。すなわち、現地住民が土地利用の変化から得る

利益を積み上げ計算するボトムアップ分析と、森林保全による世界レベルの木材供給・食糧供給の変化などが考慮されたグローバルモデル分析である。

2.2 ボトムアップ分析

ボトムアップ分析は、現地住民が農業、商業伐採、牧畜などに森林を転用して得る利益を1つずつ検討し、機会費用として評価する。ボトムアップ分析の利点は、地域住民が持つ森林開発への動機などを詳細に分析することが可能なため、制度設計にとって適切なインセンティブを知ることができる点にある。ボトムアップ分析の弱点は、対象が小規模ゆえに包括性が不足することや、土地利用変化による農作物や木材価格の変化を考慮できない部分である。表1に、これまでのボトムアップ分析の結果をまとめる。これによると、機会費用は炭素トンあたり0.15ドルから約30ドルと推定されている。推定値の多くは、市場で観察される炭素価格よりも相対的に低い水準であるため、REDD+が低価格で実現できる気候変動緩和策の一つであることを示していると言える^{*3}。

次に、個別研究で採用されている評価の手続きを概観する。Vera Diaz and Schwartzman(2005)は、ブラジルに関する研究である。ブラジルの温室効果ガス排出量は世界全体の2.5%を占め、うち75%が森林減少によるものであると言われている。現在のところ、牧畜、大豆栽培、木材伐採が主な森林減少の原因であり、中でも牧畜が原因の70%を占めている。まず木材伐採がおこなわれた後に牧畜がおこなわれるというサイクルを想定して、森林減少を思いとどまらせるのに必要な最低補償額、すなわち採算価格(break even price)が求められる。1ヘクタールあたりの採算価格は、伐採による一度きりの収益1,435ドルに、その後30年にわたる牧畜収益を割引率10%で現在価値化した264ドルを加えて、1,699ドルと推計されている。炭素蓄積量を1ヘクタールあたり155炭素トンと想定すると、これは1炭素トンあたり11ドルに相当する。1ヘクタールあたりの伐採収益を150ドルと低めに見積もると、採算価格は1ヘクタールあたり449ドル、1炭素トンあたり3ドルになる。また、伐採後に5年間の牧畜をおこない、その後25年にわたって大豆栽培

^{*3} EU ETSにおけるEAUスポット価格は、2010年12月13日時点で13.68ユーロ(約18ドル)であった(VERTIS 2011)。これは炭素トンあたりにすると、50.67ユーロ(約67ドル)に相当する。

表1 ボトムアップ分析のまとめ

対象地	費用 (ドル/ha)	費用 (ドル/tC)	主な土地利用変化	出典
ブラジル	449-1,699	3-11	伐採、牧畜	Vera Diaz & Schwartzman 2005
	2,215-3,465	14-22	伐採、牧畜、大豆	Vera Diaz & Schwartzman 2005
	713	-	牧畜、大豆	Grieg-Gran 2008
ガーナ	1,776	30	メイズ、キャッサバ	Osafo 2005
	1090	-	メイズ、キャッサバ	Grieg-Gran 2008
ボリビア	886	4.43	大豆	Silva-Chávez 2005
	1,522	-	牧畜、大豆	Grieg-Gran 2008
ガイアナ	6.36-24.56	0.18-0.71	伐採 (地上炭素のみ)	Osborne & Kiker 2005
	6.36-24.56	0.15-0.58	伐採 (地下炭素含む)	Osborne & Kiker 2005
カメルーン	2,221	30.08	プランテイン、キャッサバ	Bellassen & Gitz 2008
	1,811	-	穀物、ココア	Grieg-Gran 2008
コンゴ	1,811	-	穀物、ココア	Grieg-Gran 2008
PNG	2,744	-	オイルパーム、自給作物	Grieg-Gran 2008
インドネシア	2,008	-	オイルパーム、ゴム、米	Grieg-Gran 2008
マレーシア	1,991	-	オイルパーム、ゴム、米	Grieg-Gran 2008

注) 金額は名目値である。Bellassen and Gitz (2008) は二酸化炭素トンあたりの記述しかなかったため、0.27 で除して炭素トンあたりに変換した。Grieg-Gran (2008) の結果は、伐採収益を考慮したものである。

をおこなうという想定の下で計算すると、採算価格はさらに高くなる。

Osafo (2005) は、ガーナにおける REDD+ の効果を検証している。伐採と農地転換が森林減少の主原因であるという想定の下で、伐採収益と農業収益の総計を炭素放出量で割って、1 炭素トンあたりの採算価格が算出される。伐採による収益は木材価格の 60 % が地域コミュニティに渡るものと考えて 1 ヘクタールあたり 498 ドル、キャッサバおよびメイズから生まれる農業収益 (30 年分を割引率 10 % で現在価値化したもの) は 1 ヘクタールあたり 1,278 ドルと見積もられている。一方で、炭素放出量は 1 ヘクタールあたり 60 炭素トンと仮定されている。結果として、採算価格は 1 ヘクタールあたり約 1,776 ドル、1 炭素トンあたり 30 ドルと推定されている。Silva-Chávez

(2005) は同様の割引率と時間スケールを用いて、ボリビアにおける採算価格を1ヘクタールあたり886ドル、1炭素トンあたり4.43ドルと推定している。

Osborne and Kiker (2005) は、ガイアナ共和国を対象とした研究である。大規模な木材生産から得られる収益を森林保全の機会費用として捉え、炭素トンあたりの必要な補償金額を計算した。伐採を回避することで、地上で1ヘクタールあたり34.76炭素トン、地下も含めると1ヘクタールあたり42.37炭素トンの排出削減が可能となるものと推定された。もし地上分のみを考える場合は炭素トンあたり0.18ドル(割引率15%)~0.71ドル(割引率3%)の補償があれば、木材生産から得られる収益と等しくなる。また地下分も含めた総炭素で考える場合は炭素トンあたり0.15ドル(割引率15%)~0.58ドル(割引率3%)の補償があれば、木材生産から得られる収益と等しくなる。これらは、50年にわたって得られる木材生産収益の割引現在価値を、50年にわたる木材生産に伴う炭素放出量で除して得られる。補償は、現在時点で一括しておこなわれることが想定されている。

割引率が高いほど将来時点で発生する木材生産からの収益が低く見積もられるため、現在時点で森林伐採をあきらめさせるために必要な炭素トンあたりの補償金額は低くて済む。ここでの割引率は、木材生産会社の収益計算において採用される割引率のことを指していることに注意されたい。また、地下分を含めた方が炭素放出量は大きくなるため、炭素トンあたりの補償金額は低くて済む。直観的には地下分を含めて計算すると現地により多くの補償が渡るように思えるかもしれないが、機会費用つまり伐採を食い止めるために必要な金額は変わらないため、同じ場所で防ぐことのできる炭素量をより多く見積もって捉えた方が、炭素トンあたりの費用は安く済むことになる。もちろん実際の制度設計において、炭素トンあたりの補償金額が決定されている場合は、地下分も含めて計算した方が、より多くの補償が支払われることになる。

Grieg-Gran (2008) は、スターン報告書 (Stern 2007) のためにおこなわれた推計結果 (Grieg-Gran 2006) をアップデートしたものである。森林面積の大きい8ヶ国 (ボリビア、ブラジル、カメルーン、コンゴ民主共和国、ガーナ、インドネシア、マレーシア、パプアニューギニア) を対象として、森林減少を回避するために必要な費用を推計している。現在の地球全体における森林減少

率（年間 1300 万ヘクタール）を半減することを目標として設定し、8ヶ国における代替的な土地利用についてのヘクタールあたり収益と森林減少面積に占める割合から、費用が積み上げ計算されている。費用推計は、既存研究でおこなわれたものの引用に基づいている。総費用は、焼畑前の択伐に対する補償を考慮に入れない場合で年間 40 億ドル、考慮に入れる場合で年間 80 億ドルと見積もられた。焼畑前の択伐を考慮に入れない場合の総費用のうち 45 %は、オイルパームに起因するものとなっている。また、焼畑前の択伐を考慮に入れない場合の総費用のうち 39 %がインドネシア、32 %がブラジルにおいて発生している。

2.3 グローバルモデル分析

ボトムアップ分析が1国内の特定の土地利用に着目した推計であるのに対して、グローバルモデル分析は地球全体への REDD+ のインパクトを評価する。グローバルな影響を検討する際は、REDD+ がもたらす木材市場や農産物市場への影響を考慮する必要がある。分析期間としては、50年から100年の長期を対象とした研究が多い。グローバルモデル分析においては、炭素価格をいくらに設定するかによって、保全される森林面積が左右される。炭素価格に比べて、伐採や農業の機会費用が相対的に低い地域で、森林減少の抑制が実現する。

Sathaye et al. (2005) は、さまざまな炭素価格の下でどの程度の森林保全が地球全体で実現するかを、2000年から2100年までについてシミュレートした研究である。分析にはグローバルな動学的部分均衡モデルである GCOMP (Generalized Comprehensive Mitigation Assessment Process Model: 一般化包括緩和評価プロセスモデル) が用いられている。対策のオプションは、植林(短伐期あるいは長伐期)と森林減少の抑制である。GCOMP モデルは、まず 2100 年までのベースラインシナリオを設定する。次に炭素価格の変化に応じた、土地所有者の反応をシミュレートする。木材や非木材生産物の需要を満たすことを前提としながら、ベースラインと比べた植林の増大や、森林減少の抑制が、炭素放出の削減として推計される。炭素価格は 5 ドルから 100 ドルまでの幅でスタートし、年率 0 %から 5 %までの幅で上昇するよう外生的に与えられている。結果

として、2100年までに50.9ギガトンから113.2ギガトンの炭素放出が削減されることが明らかになった。このうち、森林減少の抑制による影響は51%から78%を占める。林業部門における厚生上の影響は、マイナス1580億ドルからプラス810億ドルまで幅広い推計が得られた。対策のオプションとして植林が進む場合はプラスの、森林減少の抑制が進む場合はマイナスの影響が、林業部門に対しては存在する（木材需要に対応しなければならない、という制約があることに注意されたい）。地域別に見ると、アフリカと南米における炭素放出の回避が大きく貢献している。これは、これら地域におけるベースラインの森林減少率が高いことと、特にアフリカでは森林保全の機会費用が低いことが原因となっている。

Sohngen and Beach (2006) は、Sohngen et al. (1999) が開発した GTM (Global Timber Model: グローバル木材モデル) を用いて、REDD+ が地球全体の森林保全に与える効果を評価している。GTM は、木材需給と土地利用を組み込んだモデルであり、消費者余剰から森林の維持管理伐採に必要な費用を引いた値を最大化するように最適化計算をおこなう。結果として、トンあたり5ドルの炭素価格では年間0.1ギガトン、トンあたり100ドルの炭素価格では年間1.6ギガトンの炭素放出を抑制する効果があることが分かった（2000年米ドルでの評価）。トンあたり100ドルの炭素価格はほぼすべての森林減少を防止するが、コストも総計で2.5兆ドルと非常に高くなる。地域別の森林減少削減の限界費用は最も低い順から並べると、東南アジア、アフリカ、南米、中米となる。

Kindermann et al. (2006) は、土地利用モデルに基づくシミュレーションを用いて、補助金と炭素税という2つの経済的手段が地球規模の森林保全に与える効果を検討している。ベースラインシナリオの計算によると、現在の森林地域のうち5%が2006年から2025年の間に失われ、17.5ギガトンの炭素が放出される。さらに100年間で現在の森林被覆面積の8分の1にあたる5億ヘクタールが消失し、45ギガトンの炭素が放出される。5年ごとに炭素1トンあたり6ドルの補助金を支払うスキームによって、森林減少を半減することができる。ただしこの方法では、340億ドルの費用が毎年必要になる。あるいは炭素トンあたり12ドルの焼畑課税や木材生産課税をおこなうことによって、森林減少を半減することができる。分析では課税対象を限定しているため、課

税の方が補助金よりも効果が弱くなっている。課税による収入は 2005 年においては年間 60 億ドルであるが、森林減少率が低くなるため、2100 年には年間 7 億ドルになる。著者らは、税収を森林保全に活用する、補助金と課税を組み合わせたスキームが良いと結論づけている。

Kindermann et al.(2008)は GCOMP、GTM、DIMA(Dynamic Integrated Model of Forestry and Alternative Land Use : 森林と代替的土地利用の動的統合モデル) の 3 種類のモデルを用いて、森林保全を通じた炭素排出削減に関する地球規模での費用推計をおこなった。2005 年から 2030 年にかけて森林減少を 10 %削減するのに必要な 1 トンあたりの炭素価格は、GCOMP で 12.96 ドル、GTM で 5.22 ドル、DIMA で 17.11 ドルと推計された (元文献では二酸化炭素トンあたりで示されている)。これにより毎年 0.08-0.16 ギガトンの炭素排出が削減できるが、毎年 4 億ドルから 17 億ドルのコストが必要になる。さらに森林減少を半減するのに必要な 1 トンあたりの炭素価格は、GCOMP で 62.59 ドル、GTM で 34.33 ドル、DIMA で 76.19 ドルと推計された。これにより毎年 0.41-0.73 ギガトンの炭素排出が削減できるが、毎年 172 億ドルから 280 億ドルのコストが必要になる。GTM は他のモデルに比べて、限界費用を低めに見積もることが分かる。

Strassburg et al. (2009) は、森林面積で上位 20 位までの発展途上国を対象として、コンバインド・インセンティブ方式による REDD+ の効果を検討している。コンバインド・インセンティブ方式とは、ベースラインの計算において歴史的排出量と予想排出量とを組み合わせた方式のことを指す。森林減少を 90 %以上抑制するのに必要な 1 トンあたりの炭素価格は、29.63 ドルと推計された。これにより 0.86-1.73 ギガトンの炭素排出が削減できるが、年間 300 億ドルのコストがかかる。この研究はグローバルな影響を検討しているものの、試算のアプローチはボトムアップ型の機会費用積み上げをおこない、木材市場への影響などを考慮していないものと思われる。これが原因かもしれないが、他の研究結果よりも必要なコストは低めに見積もられている (2005 年米ドルでの評価)。

図 1 は、縦軸に年間費用 (10 億ドル)、横軸に年間の炭素放出削減量 (ギガ炭素トン) をとり、以上の研究結果をまとめたものである。研究によってモデルの違いや前提の違いが大きいため、この図は厳密な比較を目的とするものではなく、大まかな傾向を捉えるための図であると理解された

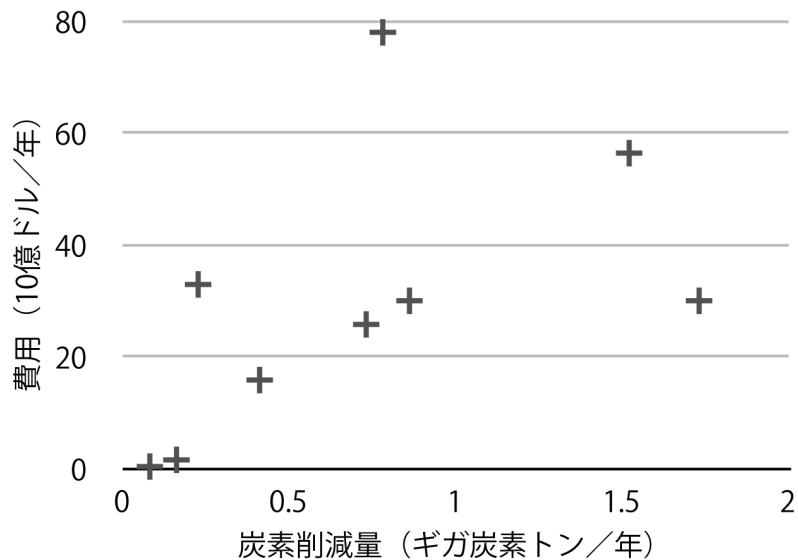


図1 グローバルモデル分析のまとめ

注) Sathaye et al. (2005)、Sohngen and Beach (2006)、Kindermann et al. (2006)、Kindermann et al. (2008)、Strassburg et al. (2009) の推計より。下限と上限が示されているものがある場合は、両方を記載した。価格は元文献に表記がない場合、文献の発表年における名目値であると考えて、2005年の米ドルに変換した。

い。価格は元文献に表記がない場合、文献の発表年における名目値であると考えて、2005年の米ドルで実質化している。年間数百億ドルの費用で、年間1ギガ炭素トン前後の効果が得られることが分かる。なお、IPCC (2007) によれば、森林減少を原因とした二酸化炭素排出量は、全世界で年間1.6ギガ炭素トンに達する。

3 鍵となるテーマ

前節で概観した費用や効果は、REDD+ を成立させる前提条件や、REDD+ に関する制度がどのように構築されるかによって、大きく異なってくる可能性がある。本節では、REDD+ が機能する上で、重要となる課題を取り上げて検討する。REDD+ の制度デザインにおいて重要なポイント

トとしては、モニタリング、ベースライン、リーケージ、非持続性、資金供給メカニズムを挙げる
ことができる (Myers Madeira 2008 ; Parker et al. 2009)。

3.1 モニタリング

炭素固定量の評価は、REDD+ の実質的な効果を決定する非常に重要な要素である。森林減少
からの排出量を計測するには、第 1 に現存する森林の状態を記録した森林インベントリの作成、第
2 にリモートセンシングとフィールド調査に基づいた森林における変化の記録、第 3 に森林におけ
る変化を炭素量の変化へと変換する、という 3 つの段階が必要である (Houghton 2003; Achard
et al. 2004; FAO 2006; Mollicone et al. 2007)。

Bellassen et al. (2008) によると、FAO が公開している 1980 年代以降の各国の森林面積データ
は、専門家の査定や古い研究からの予測に基づいて評価されたものであり、炭素固定量を測定する
ための十分な精度を持たない場合が多い。また高性能の衛星が稼働していなかった時代について、
正確な森林減少傾向を知ることは難しい。

森林の減少と劣化による炭素固定量の変化をモニタリングするためには、衛星画像等を用いたり
リモートセンシング技術と地上調査の組み合わせによる評価が必要である。森林が固定している炭素
量は、森林面積と炭素密度の関係で表わされる。森林面積の変化はリモートセンシングによって測
定され、炭素密度は地上調査によって測定される。松本 (2010) は、広範囲にわたって炭素密度を
把握するには大規模なフィールド調査が、また炭素固定量の変化を測定するには時系列での追跡調
査が必要であるとし、モニタリングにかかるコストが膨大になることを警告している。

渡辺 (2009) によると、途上国はモニタリングの対象に森林劣化を含まずに、森林減少だけを含
むことを主張している。それに対して先進国は、森林減少・劣化、土地利用までを含めたモニタリ
ング方法を発展させるべきであると主張している。今後の課題として、衛星画像などから森林劣化
を測定するアプローチなど、低いコストでモニタリングを可能にする技術開発を進め、こうした意
見の食い違いを乗り越えていく必要がある。

3.2 ベースライン

ベースラインの設定方法は、空間軸と時間軸に沿って整理することができる。まず空間軸では、もっとも小規模なものとしてプロジェクトレベルでのベースラインがある。これは「プロジェクトが存在しなかった場合」の森林状態を基準とするものであり、CDMにおけるベースラインの設定と似ている。プロジェクトレベルでのベースライン設定は、範囲が狭いため、リーケージにつながりやすい。次に、国レベルでのベースラインがある。これは、各国に森林減少の歴史的トレンドなどを考慮した個別のベースラインを定めるものである。もっとも大きな地理的広がりをもつのが、地球レベルでのベースライン設定である。これはたとえば地球全体での森林減少率を基準として定めるもので、ある国の森林減少率がこれを下回ればクレジットが発生することになる。一方、時間軸に沿ったベースラインの考え方としては、過去の森林減少率をそのままトレンドとして引き延ばすものや、森林減少率を説明するモデルを作成して、説明変数（たとえば人口など）に将来予測値を代入することで将来の森林減少率を予測するものなどがある。

途上国にとって、ベースラインの設定は直接的な収入に関わる重要な事案である。FAOが調査・分析を行い5年から10年ごとに発表される、Global Forest Resources Assessmentの2010年度版によると、インドネシアの森林面積は9,443.2万ヘクタールとなっている（FAO 2010）。2050年の森林面積は、森林減少が毎年10%の割合で起こると想定すると約139.6万ヘクタール、9%の割合で起こると想定すると約217.2万ヘクタールとなり、77.6万ヘクタールの差が生じることになる。1ヘクタールあたりの炭素価格を仮に2,000ドルとすると、ベースラインの想定が1%違うことで15億5200万ドルの収入の差が発生することになる。

すでに森林減少への政策対応をある程度おこなっている国にとっては、これまでの歴史的趨勢がベースラインとして設定されると、REDD+によって取得できる炭素クレジットが相対的に少なくなってしまう。より多くのクレジットを取得するために、現状あるいは将来の森林減少をより誇張して申告するというインセンティブが発生する。また、急激な森林減少をベースラインとして設

定すると全体的にクレジットの供給が多くなり、ゆるやかな森林減少を設定するとクレジットの供給が少なくなる。REDD+ によるクレジットの供給量が大きいと市場全体に与えるインパクトも大きくなるため、市場を通じた資金供給を前提とする場合は、ベースラインの設定が既存の排出量取引市場に与える影響も考慮する必要がある。

Mollicone et al. (2007) は、地球レベルの森林減少率に関するベースラインを設定し、現状でこれを上回る国は国レベルのベースラインからの減少に基づいてクレジットを取得し、これを下回る国は地球レベルのベースラインとの差に基づいてクレジットを取得する方法を提案している。これによって、森林減少率の高い国に森林保全へのインセンティブを与えるだけでなく、森林減少率の低い国にとってもそれを維持するインセンティブを与えることができる。

Strassburg et al. (2009) は、森林面積で上位 20 位までの発展途上国を対象として、コンバインド・インセンティブ方式による REDD+ の効果を検討している。コンバインド・インセンティブ方式とは、ベースラインの計算において国レベルの歴史的排出量と地球レベルの予想排出量とを組み合わせた方式のことを指す。いま HE を年間の炭素排出量に関する歴史的傾向、 E_t を t 時点における年間の炭素排出量、 P を 1 トンあたりの炭素価格とする。歴史的排出量に基づく支払いは、

$$I_1 = (HE - E_t) \times P \quad (1)$$

と表すことができる。また、 EE を地球レベルでの森林減少率に基づいて予想される今後の年間の炭素排出量とすると、予想排出量に基づく支払いは、

$$I_2 = (EE - E_t) \times P \quad (2)$$

となる。これら 2 つのインセンティブを組み合わせた支払い CI は、下記のように表すことができる。

$$CI = \alpha \times I_1 + (1 - \alpha) \times I_2$$

$$= [\alpha(HE) + (1 - \alpha)(EE) - E_t] \times P \quad (3)$$

ここで α は、0 から 1 までの値をとる、 I_1 と I_2 のどちらをより重視したインセンティブとすることを決める外生的なウェイトである。 α が 0 や 1 の値をとると、一部の国にとっては REDD+ から得られるインセンティブがなくなり、枠組みに参加する国の数が減ってしまい、リーケージの可能性にもつながる。先述した Mollicone et al. (2007) の提案は、 $HE > EE$ の国については $\alpha = 1$ 、 $HE < EE$ の国については $\alpha = 0$ を適用するものと言える。

ベースラインの設定は、REDD+ 制度がなかった場合に起こりうる未来を予想するものであり、不確実性がつきものである。これに関して、幅をもった森林蓄積量をベースラインとして指定することで、不確実性を緩和する方法が考えられる。Schlamadinger et al. (2005) は、ある一定の範囲をベースラインとして設定して、その範囲内についてもある程度のクレジットを取得できる仕組みを提案している。たとえば範囲の上限と下限の間については、削減量に一定のウェイトをかけたクレジットを取得できるような方法が考えられるだろう。

3.3 リーケージ

リーケージは森林のみならず、気候変動緩和策に関するさまざまな部門で課題となる。たとえば先進国で排出キャップが厳しくなったために、途上国へ鉄鋼部門が移転すると、世界全体では排出削減の効果が相殺されてしまう。森林部門でも同じようなことは起こりうる。たとえば日本に木材を供給していたとある途上国で REDD+ 活動が盛んになり、森林保全が進んだとする。しかしながらその結果として日本が別の途上国へ木材供給を頼るようになり、その分だけ森林減少が進めば、世界全体では排出削減の効果が相殺される。世界すべての国の森林が 1 つの REDD+ 制度で管理されない限り、リーケージは起こりうる。

世界全体のリーケージは、REDD+ への参加国数を増やすことによって、減少させることができる。そのため、REDD+ の制度決定は全ての国が同意できるものを目指すことが重要である。Strassburg et al. (2009) によると、国レベルの歴史的排出量と地球レベルの予想排出量とを均等

に重みづけたコンバインド・インセンティブ方式を用いれば、多くの対象国に参加を促すインセンティブを与えることができる。

3.4 非永続性

REDD+ による排出削減が永久に有効かどうかは、非永続性(non-permanence)の問題と呼ばれる(Ellis 2001)。ある年において森林が伐採されなかったとしても、次の年に伐採される可能性はある。また人為的な影響だけでなく、火事や災害といった自然発生要因によっても、森林が破壊される可能性はある。非永続性への対処方法としては、引当会計アプローチ(Reserve Accounting)、吸収年会計アプローチ(Ton-Year Accounting)、期限付きクレジット(Expiring Credits)の3つがこれまでに提案されている。

引当会計アプローチについては、第三者認証基準である Voluntary Carbon Standard、Carbon-Fix、Greenhouse Friendly が採用している(Bellassen 2008)。引当会計は、森林減少削減により生み出されたクレジットの一部を保留しておき、プロジェクトや政策の失敗などによって森林が破壊された場合に、保留しておいたクレジットから同量のクレジットを引き出して、補償をおこなうというものである。この保険に似た方法により、保留分以外のクレジットは恒久的なクレジットとして取り扱うことが可能になる。保留すべきクレジットの割合は、森林減少リスクに応じて変えることが考えられる。

吸収年会計アプローチは、森林が一定期間にわたって炭素を固定すれば、これを恒久的削減と見なすものである(Moura-Costa and Wilson 2000)。大気中にいったん放出された炭素は、恒久的な放出とはならず、時が経つにつれて海洋や生物圏に吸収される。したがって炭素が海洋などに吸収されるまでの年を等価期間(equivalence factor)として設定し、森林保全がこの期間にわたって実現すれば、恒久的削減と見なすのである。しかしながら、等価期間の推定には自然科学的な不確実性があり、これまでにおこなわれた見積もりでは42年から150年という幅がある(Marland et al. 2001)。

期限付きクレジットは、期限を区切って有効なクレジットを発行する方法である (Maréchal and Hecq 2006)。期限が終了した後には無効となるため、引き続きクレジットを利用したい場合には、新たな期限付きクレジットを取得するか、永続性のあるクレジットを取得する必要がある。実際に、CDM における新規植林と再植林については、短期期限付きクレジット (temporary Certified Emission Reduction : tCER) と長期期限付きクレジット (long-term Certified Emission Reduction : lCER) が設定されている。

3.5 資金供給メカニズム

資金供給をおこなう方法としては、市場を通じたものと基金を通じたものとの2つが考えられる (Parker et al. 2009; Isenberg and Potvin 2010)。市場を通じた資金供給メカニズムでは、クレジットの売買が市場を経由しておこなわれ、価格が需要と供給によって決定される。クレジットは、先進国が自国の削減目標を達成するのに用いることができる。こうした仕組みは効率的な森林保全の実施に有効であると考えられるが、一方で、価格の大きな変動可能性があるため、投資決定を躊躇させる原因ともなる。REDD+ によって生み出される安価で大量な炭素クレジットは、先進国のその他の産業部門における排出削減への取り組みを衰退させる可能性がある (Bosetti et al. 2009)。

CCAP (Center for Clean Air Policy) やグリーンピースといった NGO は、現存する炭素市場とは別に REDD+ 用の取引市場を作るデュアルマーケット方式を提案している (Ogonowski et al. 2007)。デュアルマーケット方式の下では、REDD+ によって生み出されたクレジットは、通常の炭素市場において流通可能ではない。しかしながら、先進国は削減目標の実現においてクレジットを用いることができる。REDD+ の仕組みが整ってきた時点で、2つの市場をリンクさせる段階へと進むことも可能である。

基金方式は、国レベルあるいは国際レベルで基金を設立し、自発的に資金を提供しようとするものである。2010年5月にノルウェー政府がインドネシア政府と合意に達した10億ドルの資金提供

などは、こうした例に当たる。^{*4}こうした基金を通じて実現した削減量は、先進国が削減目標の達成に使うことを前提としていないが、将来的に目標達成に使うことも考えられるだろう。基金方式は炭素価格の不安定さを回避することができるものの、資金が枯渇すれば支援もストップしてしまうという欠点もある。

ドイツ政府による国際気候イニシアティブ (International Climate Initiative) は、EU 排出量取引市場 (European Union Emissions Trading System) においてオークション方式で初期配分する排出枠収入を気候変動緩和策へと活用する仕組みであり、既存の炭素市場を基金へと結びつける取り組みと位置づけることができる (Reich and Wienges 2009; Climate Funds Update 2010)。2008 年において排出枠の 8.8 % がオークション方式で配分され、収入の 30 % にあたる 4 億ユーロ (6 億 1,830 万ドル) が国内外の気候変動関連プロジェクトに用いられた。そのうち 1 億 2,000 万ユーロ (1 億 8,500 万ドル) にあたる部分が途上国に用途を限定し、半分以上がエネルギー関連のプロジェクトに、残りの半分以上が適応策や生物多様性関連のプロジェクトに用いられている。REDD+ 関連のプロジェクトには、全体で 20 のプロジェクトに対して、5868 万ユーロ (8540 万ドル) に及ぶ支援がおこなわれている。

以上の論点以外にも、さまざまな課題が指摘されている。その 1 つに、国内での資金配分の課題がある。国家主権というハードルがあるために、国内で具体的にどのような資金の配分をおこなうかを REDD+ 制度で指定することは難しい。しかしながら、実際に森林減少の原因となっている行為をおこなう意思決定者にまで資金が届かなければ、インセンティブはうまく働かない (Strassburg et al. 2009)。温室効果ガス削減プロジェクトの第三者認証機関である CCBA (The Climate, Community, and Biodiversity Alliance) は、地域社会の中で、貧困世帯の 50 % 以上がプロジェクトから大きな恩恵を受けることを基準としている (CCBA 2008)。また REDD+ は、気候変動の緩和という名目の下で、森林を生活基盤としてきた地域住民をそこから排除してしまう

^{*4} 2010 年 5 月、ノルウェー政府とインドネシア政府は、REDD+ のために 10 億ドルを支援する関心表明書に調印した。インドネシア政府は、天然林と泥炭をオイルパーム農園などに転換する新規認可を来年から 2 年間凍結することを確約した。資金は実績に応じて支払われる予定である。

可能性がある。こうした側面に関して、十分な注意を払う必要がある。

REDD+ 制度そのもののデザインとは別の課題として、ホスト国側の受入能力がある。世界銀行の森林炭素パートナーシップ基金、ブラジルのアマゾン基金（Amazon Fund）などが、受入能力の向上を目指した支援をおこなっている。支援の内容は、土地利用変化や森林減少・劣化に関するシナリオの作成、効果的なモニタリング体制の構築などにはじまり、先住民族のプロジェクトへの参加などへと範囲を広げている^{*5}。

4 インドネシアにおける REDD+

4.1 インドネシアにおける森林保全の重要性

本節では、REDD+ 制度が実施された場合に大きな恩恵を受ける可能性が高いインドネシアを実例として取り上げ、前節で概観した諸課題に対して、どのような解決策が考えられるかを検討する。まず、インドネシアの森林状態や炭素排出量について述べた後、現時点で実施されている REDD+ 試行プロジェクトにおけるモニタリングとベースラインの決定方法を概観する^{*6}。

インドネシア全体の森林面積は、1990 年において 1 億 2,140 万ヘクタールであったが、2005 年には 1 億ヘクタールまで減少している（Hansen et al. 2009）。インドネシアにおける森林減少の約 75 % は、スマトラ島とカリマンタン島で起こっている。2000 年から 2005 年におけるインドネシア全体の森林減少速度は、年平均 71 万ヘクタールであった。これは、1990 年から 2000 年までの年平均 178 万ヘクタールに比べると緩やかなものであるが、依然として高い水準にあると言える。

インドネシアは、REDD+ の対象地としてどのようなポテンシャルを有しているだろうか。Deveny et al. (2009) は、FCI (Forest Carbon Index) という指標を用いて、REDD+ 実施の適切度を国・地域別に評価した。FCI は、ある国や地域が炭素クレジットを低費用で生み出す能力に

^{*5} Zahabu (2006) は、タンザニアのキツランガロ森林地域 (Kitulangalo Forest Area) における炭素密度評価において、地域コミュニティの参加がモニタリングコストを大幅に削減させる可能性を示している。

^{*6} Wertz-Kanounnikoff and Kongphan-apirak (2009) によると、2009 年 5 月時点で全世界の REDD 試行プロジェクトは 44 あり、そのうち半分以上の 24 プロジェクトがインドネシア国内のものだった。

関連する、経済や森林の状態と、リスク要素であるガバナンス能力や実行の容易さとを組み合わせで評価される。インドネシアはガバナンス能力や実行の容易さにおいてやや不安があるものの、ブラジル、ロシア、ペルー、ボリビア、コロンビアに次いで世界で 6 番目に高い評価を得た。森林減少率が高いインドネシアとブラジルは、炭素クレジットの供給シェアにおいて約 6 割を占めると評価されている。インドネシアの森林に特徴的な点は、その多くが炭素を土壌に含む泥炭地に生育していることである。これは炭素固定の側面から見て、インドネシアにおける森林保全の重要性が高いことを意味している。インドネシアが保有する広大な泥炭地には、少なく見積もっても約 55 ギガトンの炭素が固定されている (Jaenicke et al. 2008)。こうした炭素は、森林減少や火災によって、空气中に放出されてしまう可能性がある。東南アジアの泥炭林は、森林伐採、乾燥化、火災によってこの数十年間で急速に減少してきた (Hooijer et al. 2010)。東南アジアに存在する 2,700 万ヘクタールの泥炭林のうち、1,290 万ヘクタールは森林減少がすでに起こっているか、乾燥化している。また 2006 年において、東南アジアの泥炭から排出された炭素は 96 メガトン ~ 231 メガトンであり、その 82 % がインドネシアからの排出であった。

1997 年に発生した大規模な火災では、中部カリマンタン州の 79 万ヘクタールに及ぶ土地が被害にあった (Page et al. 2002)。そのうち泥炭地が占める割合は、91.5 % であった。泥炭と植生の焼失による放出を合わせると、0.24 ~ 0.28 ギガトンの炭素が放出された。インドネシア全体に外挿すると、0.81 ~ 2.57 ギガトンの炭素が 1 年間で放出されたことになる。これは全世界の化石燃料部門からの排出の 13 ~ 40 % に相当し、大気中二酸化炭素濃度の上昇に大きく寄与したと考えられる。泥炭林は、地球の気候に大きな負の影響を与える危険性がある。

4.2 ウルマセン・プロジェクト

The World Bank Indonesia REDD Team (2009) によれば、インドネシアにおける REDD+ の試行プロジェクトへの関心は COP13 をきっかけに大きくなり、現在では 20 のプロジェクト

が検討、準備、または実行されている。^{*7}本節ではその中で、インドネシア・アチェ州ウルマセン (Ulu Masen) でおこなわれている REDD+ の試行プロジェクトを取り上げる (The Provincial Government of Nanggroe Aceh Darussalam 2007)。このプロジェクトは、世界で初めて CCBA に承認された REDD+ の試行プロジェクトであり、今後の REDD+ 制度の成否を左右する重要なプロジェクトの1つである。

スマトラ島北端に位置するアチェ州では、2005年まで、アチェ独立運動 (Gerakan Ache Merdeka) とインドネシア政府が内戦状態にあった。そのため、企業などが伐採活動をおこなえず、広大な森林が手付かずの状態では残されている。しかし内戦が終了すると、こうした森林は、違法伐採、過剰な商業伐採、オイルパームプランテーションへの転換による森林減少の脅威にさらされることとなった。また同地域は、2004年に発生したスマトラ島沖地震にともなう津波によって甚大な被害を受けている。農地が津波の被害を受けた結果、現金収入を得るための違法伐採も増加した。

ウルマセンにおける森林面積は約75万ヘクタール、総炭素蓄積量は地上と地下の合計で約1.41億炭素トンと推計されている。したがって1ヘクタールあたりの平均炭素蓄積量は188炭素トンとなる。^{*8}また森林劣化については、パームオイルが76炭素トン、混交林が84.6炭素トン、低木地帯が65炭素トンと推計されている。今後30年間で、73,000ヘクタールの森林がパームオイルに変わると予測されている。

ベースラインの決定においては、過去の森林減少傾向から将来の森林減少を予測する必要がある。ウルマセン・プロジェクトでは、土地利用モデルを用いてベースラインが決定された。土地利用モデルでは、土地の傾度、アクセス性、道路建設の予定、プランテーションの開発予定、違法伐採の現状などを考慮して、将来の森林減少を予測する。モデルは、2008年から2038年の30年間における森林減少率を年間1.28%と推定した。結果として算出されたベースラインは、アチェ州

^{*7} Myers Madeira (2009) も、インドネシアにおける試行プロジェクトの現状についてまとめている。

^{*8} アジア島嶼域における炭素蓄積量を1ヘクタールあたり225炭素トンと推計している IPCC (2006) のガイドラインと比べると、これは控えめな推定となっている。

における森林減少率 0.86 %と、スマトラ島における森林減少率 2.3 %の間となった。

プロジェクトの目的は、2038 年において森林減少をベースラインから 85 %抑制することである。2008 年のウルマセンの炭素蓄積量は約 1.41 億トンであり、2038 年にはベースラインとプロジェクト下で、それぞれ約 1.08 億トンと約 1.36 億トンと推計されている。つまり約 2,800 万炭素トンの放出が抑制されることになる。このうち 8 割が地上、2 割が地下分の炭素と見積もられている。

プロジェクトの費用については、2007 年から 2012 年までに総計で約 4,800 万ドルと見積もられている。その内訳は、コンサルティングなどのスタートアップ費用が約 270 万ドル、技術的支援やクレジット販売に関わる実施費用が約 990 万ドル、モニタリングや計測に関わる費用が約 300 万ドル、違法伐採防止や再植林に関わる活動費用が約 2700 万ドルなどとなっている。違法伐採防止や再植林に関わる活動に用いられる費用は、全体の約 56 %にとどまっていることから、REDD+ を実際に動かしていくには、森林減少・劣化を抑制するための費用そのもの以外にも、相当程度の資金が必要となることが示唆される。アチェ州政府は、プロジェクト費用のおよそ半分を ODA でまかない、残りのおよそ半分をクレジットの販売収入によってまかなう予定である。

インドネシアにおける試行プロジェクトの実施者からは、国による管理や迅速な認証を求める声が上がっている (The World Bank Indonesia REDD Team 2009)。ウルマセン・プロジェクトでは CCBA による 30 年 1 億炭素トンの認証があり、メリルリンチとも購入の合意があるものの、これまでのところクレジット取得は実現していない。

4.3 有効な REDD+ 制度構築のための教訓

現地住民がおこなう土地利用に関する意思決定は、常に変化する。筆者らは 2010 年 6 月に、インドネシア中部カリマンタン州のパワン (Bawan) 村、ガエントン (Gaentong) 村、マリク (Maliku) 村を訪れ、総計 134 軒の農家に対する聞き取り調査をおこなった。天然ゴム畑を持つ農家 99 軒のうち 51 軒に対して天然ゴムを植え付けた年を尋ねたところ、51 軒のうち 46 軒が、2005 年以降に

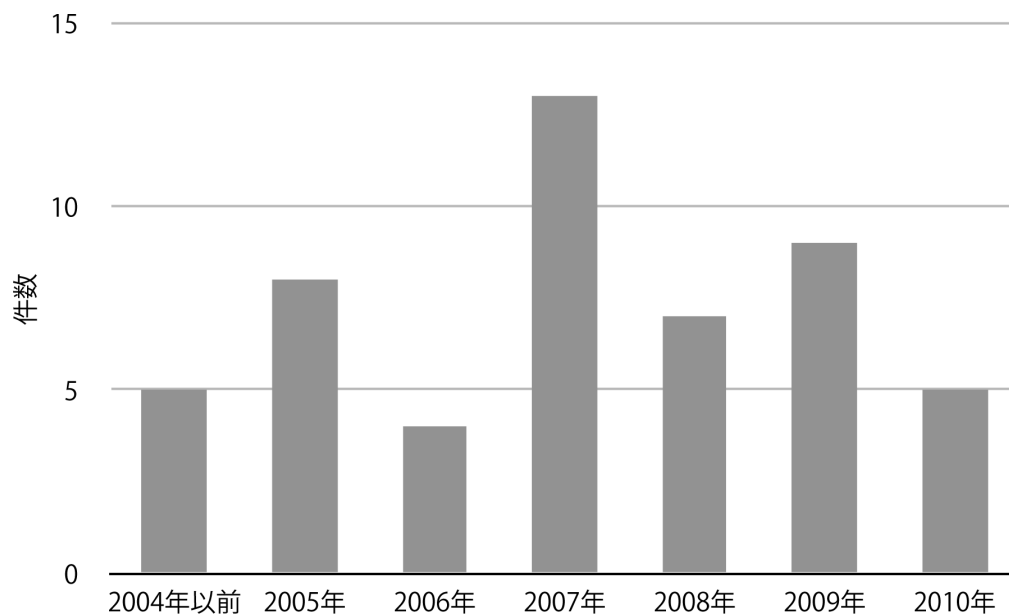


図2 中部カリマンタン3村におけるゴム栽培開始年

注) 2010年6月、パワン (Bawan) 村、ガエントン (Gaentong) 村、マリク (Maliku) 村における調査結果より。

天然ゴムの栽培を開始していた (図2)。こうしたゴムの栽培は、もともと米を植えていた場所でおこなわれていた。この地域では、小規模農家による天然ゴムの植林が2005年以降に増加していると推測される。

ゴムの栽培は、米の栽培に比べると炭素固定に寄与する。Palm et al. (1999) は、インドネシアにおける LULUCF による炭素固定量を推定している。対象となる LULUCF としては、原生林、択伐された森林、天然ゴム、パルプ、一年生作物の炭素固定量が取り上げられている。天然ゴムの炭素固定に対して補償を与える制度を採用すれば、地元住民が安定した経済的収入を得ながら、気候変動の緩和に貢献する可能性がある。

インドネシアにおけるプロジェクト進行にとってのその他の不安定要因として、違法伐採の存在を挙げることができる。Curran et al. (2004) によると、森林保護地域として指定されている西カリマンタン州の Gunung Plung 国立公園において、1985年から2001年までの間に56%以上の森林が失われた。管理者のいない森林保護地域は、木材供給のための違法伐採がおこなわれる危険性

表2 インドネシアにおける LULUCF の炭素固定量

	原生林	択伐された森林	天然ゴム	オイルパーム	パルプ	一年生作物
炭素量 (tC/ha)	306	93.2	89.2	44.2	22.0	2.05
	(99)	(41.3)	(39.8)		(1.91)	(0.98)

出所) Palm et al. (1999)

注) カッコ内は標準偏差を表わす。オイルパームの炭素蓄積量は、カメルーンにおける調査データを使用している。

があり、適切な管理体制を構築する必要がある。

REDD+ の実施には、削減実施そのものに必要な機会費用に対する補償以外にも、ベースラインやモニタリングにかかる準備費用、違法伐採の防止にかかる費用など、さまざまな資金が必要となる。したがって、着実な削減を実現するためには、受け入れ能力の発展をうながすための支援が不可欠である。

5 結語

本稿では、REDD+ に関する経済学的文献の成果を概観し、その費用と効果、制度設計において鍵となるテーマについて整理した。さらに、インドネシアを事例として、具体的なプロジェクト展開における課題について考察した。結果として、REDD+ は安価な気候変動緩和策として大きなポテンシャルを秘めているものの、制度として有効に機能するには、多くのハードルを乗り越える必要があることが分かった。

2010年11月にメキシコ、カンクンで開催された COP16 では、2013年以降の気候変動対策の国際的枠組みについての決定を、2011年に開催される COP17 に先延ばしした。現在のところ、米国、中国といった主要排出国が参加する新たな枠組みを採用する案と、先進国のみが削減義務を負う京都議定書を延長する案とが、併存している状態である。先進国と途上国の間に横たわる利害対立を乗り越えるためにも、資金移転メカニズムとしての REDD+ が果たす役割は大きい。

一方で、森林の気候変動緩和機能のみに焦点を当てすぎると、資源配分に歪みが発生する可能性もある。森林保全は炭素吸収、気候変動緩和という便益だけでなく、持続可能な林業を通じた経済的利益や、生物多様性の保全という多面的な便益をもたらす。こうした多様な便益を認識し、それを具現化していくような制度設計が求められる。

参考文献

- [1] Achard, Frédéric, Hugh D. Eva, Philippe Mayaux, Hans-Jürgen Stibig, and Alan Belward. 2004. Improved Estimates of Net Carbon Emissions from Land Cover Change in the Tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles* 18.
- [2] Bellassen, Valentin, and Vincent Gitz. 2008. Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Cameroon—Assessing Costs and Benefits. *Ecological Economics* 68 (1-2): 336-44.
- [3] Bellassen, Valentin, Renaud Crassous, Laura Dietzsch, and Stephan Schwartzman. 2008. Reducing Emissions from Deforestation and Degradation: What Contribution from Carbon Markets? *Climate Report*. Issue No. 14, December 2008.
- [4] Bosetti, Valentina, Ruben Lubowski, Alexander Golub, and Anil Markandya. 2009. Linking Reduced Deforestation and a Global Carbon Market: Impacts on Costs, Financial Flows, and Technological Innovation. *Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Papers*: 2009.56.
- [5] CCBA. 2008. *Climate, Community and Biodiversity Project Design Standards Second Edition*. CCBA, Arlington, VA. December 2008.
- [6] Climate Funds Update. 2010. *Climate Funds: International Climate Initiatives*. <http://www.climatefundupdate.org/listing/international-climate-initiative> (2010年12月30日最終アクセス)
- [7] Curran, L.M., S.N. Trigg, A.K. McDonald, D. Astiani, Y.M. Hardiono, P. Siregar, I.

- Caniago, and E. Kasischke. 2004. Lowland Forest Loss in Protected Areas of Indonesian Borneo. *Science* 303: 1000-1003.
- [8] Deveny, Adrian, Janet Nackoney, Nigel Purvis, Mykola Gusti, Raymond J. Kopp, Erin Myers Madeira, Andrew R. Stevenson, Georg Kindermann, Molly K. Macauley, and Michael Obersteiner. 2009. Forest Carbon Index? The Geography of Forest in Climate Solutions. Resources for the Future, RFF Report, December 2009.
- [9] Ellis, Jane. 2001. Forestry Projects: Permanence, Credit Accounting and Lifetime, OECD/IEA Information Paper, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2001)11, Paris, October 2001.
- [10] FAO. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards Sustainable Forest Management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [11] FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [12] Grieg-Gran, Maryanne. 2006. The Cost of Avoiding Deforestation. Report Prepared for Stern Review of the Economics of Climate Change. International Institute for Environment and Development.
- [13] Grieg-Gran, Maryanne. 2008. The Cost of Avoiding Deforestation. Update of the Report prepared for the Stern Review of the Economics of Climate Change. International Institute for Environment and Development.
- [14] Hansen, Matthew C., Stephen V. Stehman, Peter V. Potapov, Belinda Arunarwati, Fred Stolle, and Kyle Pittman. 2009. Quantifying Changes in the Rates of Forest Clearing in Indonesia from 1990 to 2005 Using Remotely Sensed Data Sets. *Environmental Research Letters*: 4(3), pp.1-12.
- [15] Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten, and J. Jauhiainen. 2010. Current and Future CO₂ Emissions from Drained Peatlands in Southeast Asia.

- Biogeosciences 7: 1505-1514.
- [16] Houghton, Richard A. 2003. Revised Estimates of the Annual Net Flux of Carbon to the Atmosphere from Changes in Land Use and Land Management 1850-2000. *Tellus Series B Chemical And Physical Meteorology* 55(2): 378-390.
- [17] IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Edited by H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe. Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- [18] IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press.
- [19] Isenberg, Jordan, and Catherine Potvin. 2010. Financing REDD in Developing Countries: A Supply and Demand Analysis. *Climate Policy* 10: 216-231.
- [20] Jaenicke, J., J.O. Rieley, C. Mott, P. Kimman, and F. Siegert. 2008. Determination of the Amount of Carbon Stored in Indonesian Peatlands. *Geoderma* 147: 151-158.
- [21] Kindermann, Georg E., Michael Obersteiner, Ewald Rametsteiner, and Ian McCallum. 2006. Predicting the Deforestation Trend under Different Carbon Prices. *Carbon Balance and Management* 1(15).
- [22] Kindermann, Georg, Michael Obersteiner, Brent Sohngen, Jayant Sathaye, Kenneth Andrasko, Ewald Rametsteiner, Bernhard Schlamadinger, Sven Wunder, and Robert Beach. 2008. Global Cost Estimates of Reducing Carbon Emissions through Avoided Deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(30): 10302-10307.
- [23] Maréchal, Kevin, and Walter Hecq. 2006. Temporary Credits: A Solution to the Potential Non-permanence of Carbon Sequestration in Forests? *Ecological Economics* 58: 699-716.

- [24] Marland, Gregg, Kristy Fruit, Roger Sedjo. 2001. Accounting for Sequestered Carbon: The Question of Permanence. *Environmental Science and Policy* 4: 259-268.
- [25] Mollicone, Danilo, Frédéric Achard, Sandro Federici, Hugh D. Eva, Giacomo Grassi, Alan Belward, Frank Raes, Gunther Seufert, Hans-Jürgen Stibig, Giorgio Matteucci, and Ernst-Detlef Schulze. 2007. An Incentive Mechanism for Reducing Emissions from Conversion of Intact and Non-intact Forests. *Climate Change* 83: 477-493.
- [26] Moura-Costa, Pedro, Charlie Wilson. 2000. An Equivalence Factor between CO₂ Avoided Emissions and Sequestration — Descriptions and Applications in Forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 51-60.
- [27] Myers Madeira, Erin C. 2008. Policies to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Tropical Forests: An Examination of the Issues Facing the Incorporation of REDD into Market-Based Climate Policies. *Resources For the Future*, December 2008.
- [28] Myers Madeira, Erin. 2009. REDD in Design: Assessment of Planned First-Generation Activities in Indonesia. *Resources For the Future*, Discussion Paper 09-49, December 2009.
- [29] Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsidig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang. 2007. Forestry. In B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer, eds. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- [30] Ogonowski, Matthew, Ned Helme, Diana Movius, and Jake Schmidt. 2007. Reducing Emissions from Deforestation and Degradation: The Dual Market Approach. Center for Clean Air Policy, August 2007.
- [31] Osafo, Yaw B. 2005. Reducing Emissions from Tropical Forest Deforestation: Applying Compensated Reduction in Ghana. In Paulo Moutinho, and Stephan Schwartzman, eds.

- Tropical Deforestation and Climate Change. 63-72. Amazon Institute for Environmental Research.
- [32] Osborne, Tracey, and Clyde Kiker. 2005. Carbon Offsets as an Economic Alternative to Large-Scale Logging: A Case Study in Guyana. *Ecological Economics* 52: 481-96.
- [33] Page, Susan E., Frolian Siegert, John O. Rieley, Hans-Dieter V. Boehm, Adi Jayak, and Suwido Limin. 2002. The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fire in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61-65.
- [34] Palm, C.A., P. L. Woomer, J. Alegre, L. Arevalo, C. Castilla, D.G. Cordeiro, B. Feigl, K. Hairiah, J. Kotto-Same, A. Mendes, A. Moukam, D. Murdiyarso, R. Njomgang, W.J. Parton, A. Ricse, V. Rodrigues, S.M. Sitompul, and M. van Noordwijk. 1999. Carbon Sequestration and Trace Gas Emissions in Slash-and-burn and Alternative Land-uses in the Humid Tropics. ASB Climate Change Working Group, Final Report Phase II. October 1999.
- [35] Parker, Charlie, Andrew Mitchell, Mandar Trivedi, and Niki Mardas, and Karin Sosis. 2009. *The Little REDD+ Book*. Global Canopy Programme, Oxford, U.K.
- [36] The Provincial Government of Nanggroe Aceh Darussalam (Aceh). 2007. Reducing Carbon Emissions from Deforestation in the Ulu Masen Ecosystem, Aceh, Indonesia: A Triple-Benefit Project Design Note for CCBA Audit. December 29, 2007.
- [37] Reich, Hendrikje, and Sebastian Wienges. 2009. Germany's International Climate Initiative? A Bilateral Fund as Innovative Financing Mechanism. Paper to be presented at the 2009 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change - 'Earth System Governance: People, Places and the Planet', 2-4 December 2009.
- [38] Santilli Márcio, Paulo Moutinho, Stephan Schwartzman, Daniel Nepstad, Lisa Curran, and Carlos Nobre. 2003. Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol: A New Proposal. Paper Presented at COP-9, December 2003, Milan, Italy. <http://www.amazonia.org.br/>

arquivos/92568.pdf (2010年12月30日最終アクセス)

- [39] Sathaye, Jayant, Willy Makund, Larry Dal, and Peter Chan. 2005. GHG Mitigation Potential, Costs and Benefits in Global Forests: A Dynamic Partial Equilibrium Approach. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL 58291.
- [40] Schlamadinger, Bernhard, Lorenzo Ciccarese, Michael Dutschke, Philip M. Fearnside, Sandra Brown, and Daniel Murdiyarsa. 2005. Should We Include Avoidance of Deforestation in the International Response to Climate Change? In Paulo Moutinho, and Stephan Schwartzman, eds. Tropical Deforestation and Climate Change. 53-62. Amazon Institute for Environmental Research.
- [41] Silva-Chávez, Gustavo, A. 2005. Reducing Greenhouse Gas Emissions from Tropical Deforestation by Applying Compensated Reduction to Bolivia. In Paulo Moutinho, and Stephan Schwartzman, eds. Tropical Deforestation and Climate Change. 73-86. Amazon Institute for Environmental Research.
- [42] Sohngen, Brent, and Robert H. Beach. 2006. Avoided Deforestation as a Greenhouse Gas Mitigation Tool: Economic Issues for Consideration. Unpublished manuscript.
- [43] Sohngen, B., Mendelsohn, R., Sedjo, R., 1999. Forest Management, Conservation, and Global Timber Markets. *American Journal of Agricultural Economics* 81(1): 1-13.
- [44] Strassburg, Bernardo, R. Kerry Turner, Brendan Fisher, Roberto Schaeffer, Andrew Lovett. 2009. Reducing Emissions from Deforestation The ‘ ‘ Combined Incentives ’ ’ Mechanism and Empirical Simulations. *Global Environmental Change* 19: 265-278.
- [45] UNFCCC. 2010. Distribution of Registered Project Activities by Scope. <http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjByScopePieChart.html> (2010年12月30日最終アクセス)
- [46] VERTIS. 2011. EUA Spot Price on 23. 12. 2010. <http://www.vertisfinance.com>(2011年1月2日最終アクセス)

- [47] Vera Diaz, Maria del Carmen, and Stephan Schwartzman. 2005. Carbon Offsets and Land Use in the Brazilian Amazon. In Paulo Moutinho, and Stephan Schwartzman, eds. Tropical Deforestation and Climate Change. 93-98. Amazon Institute for Environmental Research.
- [48] The World Bank Indonesia REDD Team. 2009. Developing a Market for REDD in Indonesia. January 2009.
- [49] Wertz-Kanounnikoff, Sheila, and Metta Kongphan-apirak. 2009. Emerging REDD+: A Preliminary Survey of Demonstration and Readiness Activities. CIFOR Working Paper No. 46.
- [50] Zahabu, Eliakimu. 2006. Case Study 3: Kitulungalo Forest Area, Tanzania. In Daniel Murdiyarso, and Margaret Skutsch, eds. Community Forest Management as a Carbon Mitigation Option: Case Studies. 20-25. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- [51] 原田一宏. 2010. 「生物多様性保全から気候変動緩和へ REDD が保護地域に与える影響に関する考察」『林業経済』62(10): 2-17.
- [52] 百村帝彦・横田康裕. 2010. 「REDD+ の制度・政策」『森林科学』No.60: 19-23.
- [53] 平田泰雅. 2010. 「REDD プラスの最近の動きとその課題」『海外の森林と林業』No.78: 2-6.
- [54] 藤間剛他訳『木はお金で育つか? 「森林減少と森林劣化に由来する排出削減 (REDD)」に対する森林減少研究からの示唆』CIFOR. 2008. (Kanninen, Markku, Daniel Murdiyarso, Frances Seymour, Arild Angelsen, Sven Wunder, and Laura German. Do Trees Grow on Money? The Implications of Deforestation Research for Policies to Promote REDD. CIFOR. 2007.)
- [55] 松本光朗. 2010. 「REDD プラスのための森林炭素モニタリング手法」国際ワークショップ『REDD プラス 熱帯林を守る新たな国際的枠組み モニタリング・生物多様性・実践の側面から』における講演, 2010年10月25日, ANA クラウンプラザホテル グランコート名古屋.
- [56] 渡辺達也. 2009. 「REDD のこれまでの議論と最近の動向」『海外の森林と林業』No.75: 2-7.