

2009 年 3 月修了 修士論文

熱帯雨林地域における土地利用予測モデルの開発と 森林減少防止策の検討

Simulating Land-Use Change in Tropical Rainforest Areas

To Discuss REDD Policy Options

環境システム学専攻 学籍番号：76761 氏名：清水 康弘（指導教員：吉田好邦）

Keywords：REDD, Land Use Change, Multinomial Logit Model, Oil Palm, Tropical Rain Forest

1. 背景

1.1 森林減少に関わる政策課題

森林減少は、人為起源の GHGs 排出の 20%程度を占めると言われ、温暖化対策の中での重要度が高まっている。もっとも、各国政府が保護地域などを設定して森林減少を防止することは簡単であるが、問題はどこまで開発を許し、どこまで保護するのかということである。将来の経済発展に伴って、どの程度森林減少が進むのか、また現状では、森林減少を防止することで炭素クレジットを得ることはできないが、ポスト京都でそうした国際的枠組みが導入された場合に、土地利用がどのように変化するかということを知ることは有用である。逆に、どのような政策が森林減少に対して有効であるのかを知ることも必要である。

1.2 研究課題

以上のことを踏まえると、途上国における森林減少の問題は、「生態系サービスを持続可能な程度に維持しつつ、人々の福利を最大化するための制度設計をどのようにすればよいか」という問題に帰着する。そのための研究課題を以下に示す。

(1) 技術的課題

炭素収支や物質循環などを科学的に把握する

(2) 社会・経済分析

森林・農業などに関わる社会・経済的要因の関係性を正しく把握し、数値モデルによって現状を再現しさらに将来を予測する

(3) 制度設計

前段階で開発したモデルを利用するなどして、人々の福利を最大化するための政策・制度を設計する

2. 目的

2.1 スコープ

本研究においては、1.3 で挙げた研究課題のうち、(2) 及び (3) について、「土地利用変化予測モデル」を用いた分析を行う。

2.2 目的

東南アジアにおいて、地域レベルの土地利用変化を再現するツールとして、土地利用予測モデルを開発し、それによって BaU の将来を予測する。さらに、モデルに政策的要素を導入して、そのインパクトアセスメントを行い、ポスト京都における REDD の制度設計について検討する。

3. モデル

3.1 概要

本研究では、“spatially explicit”な土地利用モデルを開発する。すなわち、対象地域を 100m 四方の大きさのセルに分割し、各々のセルの土地利用状態を予測しようというものである。基本的な考え方としては、あるセルの土地利用状態は、それが持つ様々な属性によって確率的に決まると仮定し、多項ロジットモデルを使って土地利用状態の選択を表現する。

3.2 多項ロジットモデル

比較的微視的な範囲の土地利用予測する際に考慮すべきは、あるセルにおける土地利用タイプの選択は、その土地の期待利潤からだけでは説明できないということである。例えば、人口分布などコストと直接的な関係のない要素が、土地利用に影響を与えているかもしれないし、データにない不確実な要素が影響を与えている可能性もある。そこで、本研究ではそのいわば「理論と現実とのギャップ」について、ランダム効用を仮定した多項ロジット (ML) モデルを用いて説明することを考える。

ML モデルは、意思決定主体の選択肢が複数あ

る場合に、ある選択肢の選択確率を、その選択肢から得られる効用によって説明するモデルである。さらに、その効用が、確定項と確率項の和であると仮定することで、不確実な意思決定を表現している。各選択肢の選択確率 P_i は、次の式によって表される。

$$P_{in} = \frac{e^{\lambda V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\lambda V_{jn}}} = 1 / \sum_{j \in A_n} e^{\lambda (V_{jn} - V_{in})} \quad (3-1)$$

ただし、 V_{in} は個人 n が選択肢 i から受ける効用の確定項を表し、 λ は効用の確率項のばらつきを示すパラメータである。 A_n は n のもつ選択肢集合を表す。ここでの課題は、 V をいくつかの説明変数の関数として表現することである。つまり、説明変数の値と実際の選択結果の組み合わせのデータセットを使って、関数形を統計的に推定する。しかし、この統計的方法の問題点は、内部に経済学的な理論を含んでいないために、政策シミュレーションや経済的な問題の分析ができないことである。そこで、本研究においては、効用 V を期待利潤を含めたいくつかの説明変数を用いて統計的に推測することを考える。土地利用を左右する属性として、例えば傾斜や都市部からの距離などが挙げられるが、これらは相互に相関性を持っている可能性がある。これらの説明変数が、土地利用に与える影響を正しく理論的に分析し、期待利潤という形に集約させることが本研究の第一の課題であると認識する。

3.3 データセット

本研究で利用するデータセットは主に以下の二つである。これらを必要に応じて、適当なフォーマットに変換して使用する。

(1) Thailand on a disc

タイ環境研究所が作成したデータセットで、タイ全土をカバーしている。1:25000 程度の精度で用意された、土地利用・道路・傾斜・地質・河川などの基本的な地理的情報に加え、TAM と呼ばれる 5~20km 程度の大きさの区画ごとに、農業・収入・人口動態などの社会経済情報が用意されている。1:25000 のデータは 100m 四方ラスターデータに変換する。

(2) Topographic map in Malaysia

JUPEM が作成した 1:25000~50000 程度の精度をもつマレーシアの地図である。オリジナルはハードコピーであるが、これをラスターデータに変換して使用する。

3.4 事前分析

モデリングを行う前の事前調査として、土地利用に影響を与えているファクター及びそれらのファクター間の関係性について統計的解析を行った。この分析はタイのみで行った。タイに関しては、先んじて比較的詳細な社会経済データを得られたからである。

結果として、土地利用状態に影響を与えるファクターは、主として「傾斜」と「最寄り道路からの距離」と「都市部からの距離」であることがわかった。すなわち、傾斜が急で道路から遠いようなところは、森林として残存しており、そうでない地域は農地として使われている傾向が見られる。

3.5 方針

事前分析の結果をもとに、傾斜と道路からの距離を直接的なコスト要因として捉え、「都市部からの距離」土地利用の経済性と直接に関係がないが、土地利用に影響を与えているパラメータとして捉える。前者の二つから求めた収益と後者を、3.2 の ML モデルの説明変数として使い土地利用を説明することを考える。ところで、過去数十年、タイ・マレーシアにおける森林減少の原因の多くは、ゴム・オイルパームのプランテーションであった。今後ともこの傾向は続くと思われる。そこで、本研究では簡素化のため、ゴム栽培・オイルパーム栽培・森林の3つの土地利用状態を考える。また、ゴムやオイルパームのプランテーションは、農家が行っている場合と企業体が行っている場合がある。これらは別の行動原理をもっていると考えられるが、土地の所有などについて明確な情報を得ることはできない。したがって、両者に適用可能である、より一般的な「収益」の定義が必要である。なお、収益は 1ha の大きさのセル単位で把握する。

3.6 土地利用による収益に関する分析

(1) キャッシュインフロー

農業におけるキャッシュインフロー：CIF は、作物の売却によるものである。よって CIF は、1ha あたりの単収と作物の生産者価格を乗じることによって求められる。これらのデータは FAOSTAT による。なお、以下のキャッシュフロー計算はすべてプロジェクト期間 25 年の NPV で計算する。

(2) 固定費用

土地の属性に影響を受けない費用と定義する。ただし、初期費用と投入費用とに分ける。文献値を用いる。

(3) 搬出コスト

搬出コストは、農地から主要道路まで産物を輸送するコストである。一般的には、農地の近くまでトラックが通れるような農道が敷かれているので、変動費はトラック輸送を仮定して求める。ただし、該当セルが負担すべき固定費すなわち道路の建設費と維持費については、該当する道路を輸送に使う他のセルが多いほど小さくなるように設定した。

(4) 労働コスト

労働コストは、農場内で作物栽培のために必要なコストである。このコストは、傾斜に影響を受けて決まるという考え方が一般的ではあるが、プランテーションについて数的な関係性を示す資料はない。そこで、労働コストは文献値を用いるが、セルによらず一定とし、将来予測の際に一人当たり GDP に比例して動くパラメータであるとした。

(5) 傾斜

(4) で傾斜と労働コストを結びつける資料がなかったと述べたが、本研究ではこれらの経済性に基づく関係性を仮定し、推定によってその関係性を求める。すなわち、傾斜を一つの説明変数として効用関数を推定し、傾斜の係数と NPV の係数の比を調べる。

4. モデル推定

4.1 ランダムサンプリングと地域への適用

まず、タイ南部全体のデータからランダムサンプリングで 40000 セルを取り出し、そのサンプルで効用関数を推定する。そうして得られた効用関

数の傾斜と NPV の比を固定して、いくつかの地域に適用し、効用関数の係数を再推定する。この方法をとる理由は、傾斜と NPV の係数の比はその経済的関係性を仮定している以上、地域によって不変であるはずだが、地域ごとに推定すると他のファクタに影響されて著しく異なる値をとるからである。そうしたバイアスを排除するため、広域での平均的な値としての傾斜と NPV の比をランダムサンプリングによって求めてから、地域に固有の係数をとると思われるダミー変数と都市部からの距離の係数を再推定するという方法をとる。

4.2 推定結果

上記の方法で、タイ南部の 3 地域に対してモデルを推定したが、 ρ^2 値にして 0.2~0.5 程度、的中率にして 0.6~0.8 程度の概ね良好な結果が得られた。マレーシアについても同様の方法で推定した。こちらはややサンプル数が少ないが、 ρ^2 値にして 0.3~0.5 程度、的中率にして 0.6~0.8 程度の概ね良好な結果が得られた。これで、現状の土地利用をモデルで再現したことになる。

5. 将来予測

5.1 概要

4 で推定したモデルのうち、収益に関わる要因として、オイルパーム価格、一人当たり GDP、消費者物価指数を既存研究の予測結果をもとにシナリオを作って導入して、土地利用の将来を予測する。

5.2 結果

マレーシア、Sarawak 州の 20km×20km の地域における、SRES-A1, B1, IMF World Economy Outlook をベースにしたシナリオに対しての将来予測の結果を次の表に示す。

Table. 1 Prediction of land use map as percentage share

年	2005		2015		2025	
	森林	農地	森林	農地	森林	農地
A1	44	47	30	61	6	86
B1	44	47	27	64	0	91
IMF	44	47	37	54	12	79

単位：%

Table.1 から分かるように、この地域においては今後 20 年程度の間でほとんどの森林がオイルパームの農地に転換されると予測した。また、経済発展のシナリオによって森林減少の進む速さが大きく異なるということも言える。

5.3 GHGs 排出量の算定

IPCC-NGIPP の Good Practice Guidance For LULUCF の方法にならって、各期間における GHGs 排出量を予測した。結果は下の表のようである。

Table.2 Predictions of CO2 Emissions in Each scenario

シナリオ	2005-2015	2015-2025
A1	1657	1731
B1	2160	2098
IMF	658	1354

単位：tC

森林減少に伴って、多くの CO2 が排出されるが、とりわけ、2015～2025 年の期間については、前期間中に開発された湿地からの排出が継続しているため、期間中の森林減少面積の割に排出量が大きい。

6. 政策分析

6.1 概要

森林減少防止策として、森林を保護することに対する補助金を与えた場合の、GHGs 排出削減効果や単位排出削減量あたりの補助金額などを本モデルを使って予測する。次の政策手法について検討する。

- (1) 地域全体の排出削減目標を設定し、最も地域の効用の合計が大きくなるように土地利用を調整し、オイルパームが栽培できないことによる収益機会の喪失分を補填する方法
- (2) セルごとに森林を保護したときにもらえる補助金の額を恣意的に設定する。

6.2 地域全体の土地利用を強制する場合

(1) はプロジェクトなどで計画的な土地利用を行って、排出削減をする場合に相当する。このとき補填すべき額が GHGs 削減量に対して市場から調達できる額よりも大きければ、プロジェクトが実行される可能性がある。したがって、このときの補填額を GHGs 削減量で割って求まる単位削減量あたりの補填額は、損益分岐点の排出権価格

である。下表は、期間 1 (2005 年～2015 年) までの各排出削減シナリオにおける限界排出権価格である。(1\$≒3.8RM)

Table.3 Minimum Limit CER prices for each ERscenario

削減目標	削減総量 (tC)	限界排出権価格
3/4 に削減	165000	39.3
半分に削減	328000	39.6
1/4 に削減	493000	39.6

単位：RM/tC

6.2 セルごとに補助金を設定する場合

セルごとに、一律、GHGs 削減ポテンシャル比例、農地転換の効用比例という補助金額を設定する。単位排出削減量あたりの補助金額を縦軸、排出削減総量を横軸にとる。

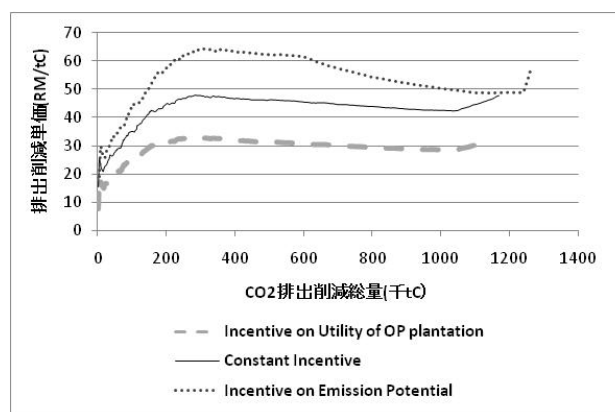


Fig. 1 The Emissions Reduction Costs per Tonnes of Carbon WITH Each Emissions Reduction Targets from 2015 to 2025

GHGs 排出が大きいところほど保護に大きな補助金を出すようなやり方は、排出削減シナリオによってはかえって補助金の効率が悪いことを意味している。逆に、農地転換が起こりやすい土地により多くの補助金を設定することで、単位排出削減量あたりの補助金額を少なくできる。

7. 結言

(1) 計量経済学・農業経済学などの理論に基づいて、熱帯雨林地域を対象とする土地利用予測モデルを構築した。

(2) 比較的少ないファクターから土地利用を説明するモデル化を行い、また妥当な将来予測を得た。

(3) 現在政策課題として浮上している、森林減少防止策についてモデルを使った検討を行い、補助金などの排出削減効果を計算した。