

課題名	S-2 陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシンク・ソース制御技術の開発 3: 農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価 3b. 東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究		
課題代表者名	井上 吉雄 (独立行政法人農業環境技術研究所生態系計測研究領域)		
研究期間	平成15-19年度	合計予算額	64,296千円 (うち19年度 11,270千円) *上記の合計予算額には、間接経費14,837千円を含む。

研究体制

- (1) リモートセンシング等による移動耕作生態系の変動と立地環境の解明
- 1) リモートセンシング等による移動耕作生態系の動態解明 (独立行政法人農業環境技術研究所)
 - 2) 気象資源の広域的分布特性および生態系動態との関係解明 (国際交流研究: 農業環境技術研究所)
 - 3) ラオス焼畑生態系における代替的土地利用・作付けシステムの社会経済的受容性に関する研究 (国際交流研究: 農業環境技術研究所)
- (2) 移動耕作生態系のシンク機能増強のための資源循環的輪作システムの開発・導入に関する検討 (国立大学法人京都大学)
- (3) 生態系管理法の変更に伴う土地被覆変化モデルの構築と炭素収支への影響評価 (独立行政法人森林総合研究所)

I. テーマ3bの全体構成

本研究は、途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧の安全保障とカブリングした状況下での環境問題に直接コミットすることを目指した研究である。すなわち、重要な問題生態系のひとつである焼畑生態系を研究対象として、食糧生産力と農業の収益性を改善しつつ、同時に当該地域の生態系の炭素ストックを増強

するための土地利用・生態系管理技術を提示することを目的とした。

そのため、研究の構成は大きく、①生態系の炭素ストックの実態を広域的に把握するための科学的基礎固めと、②生態系の炭素ストックと食糧生産力を両立させるための技術オプションの検討・評価からなる。

そして、①は(1)衛星リモートセンシング等空間情報技術を駆使した土地利用や群落齢別面積実態の長期的・広域的解明、(2)土壌炭素ストックの実態解明、(3)休閑群落の炭素ストックの実態解明から構成した。一方、②については、(1)イネの新品種、地力維持作物、換金性作物の導入効果の実験的検討、および(2)社会経済的受容性の検討、からそれぞれ構成した。

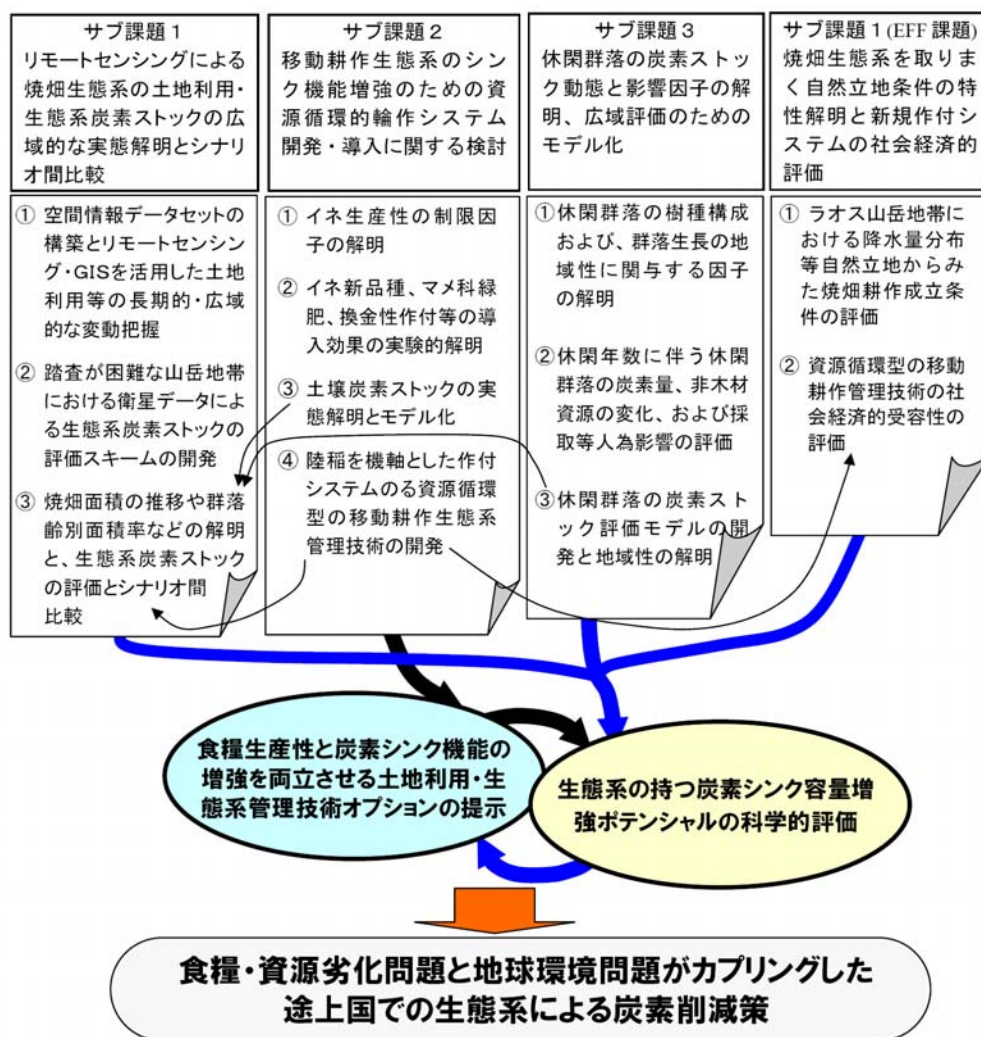


図1. 本研究のフレームワーク

図1に示したように、全サブ課題が一体的に連携して研究を進めたことが、科学的知見の創出においても、導入技術オプションの策定と評価においても、きわめて効果的に作用し、結果として学術的新規性が高くかつ国際的な事業機関に関心をよぶ成果につながったと考えられる。

II. 本研究により得られた科学的成果

- (1) 焼畑地の土壤中炭素ならびに焼畑休閑地のバイオマス、枯死木、リターの炭素蓄積量についての実測データを計測し、それに基づいて土壤中ならびに休閑群落の炭素ストックを休閑年数（群落齢）の関数として表現するモデルを構築した。焼畑生態系という特殊な条件を対象にした系統的な調査は本研究がはじめてである。
- (2) 衛星画像解析により焼畑地面積や群落齢別面積率を定量化し、現地調査に基づいた土壌および休閑群落の炭素ストック評価モデルと総合して、生態系炭素ストックの動態を広域的に定量評価するスキームは、現時点では最も現実的かつ堅牢性の高いアプローチと考えられる。このようなアプローチを問題生態系に適用して、地域スケールの生態系炭素ストックを科学的に定量評価した世界ではじめての知見といえる。これらの手法ならびに結果は、国際誌等に公表し高い関心と呼んでいる。
- (3) 本研究では生態系炭素ストックの広域評価に必要な衛星画像・空中写真・地形図・気象資源等空間データを収集・GISとして構築した。当該地域における地球科学的研究で多方面に活用できる。また、焼畑生態系における主要な地表面構成要素の分光反射特性を明らかにするとともに、それらの判別に有用な新たな分光反射指数を提示した。これらの手法的研究成果は、有数の国際学術誌等に掲載されており、地球観測衛星画像を活用した各種生態系の解析や火災後の植生再生過程の解析等に、特に有用な汎用的知見としてはば広く活用される。
- (4) 焼畑条件での陸稲収量に対する土壌肥沃度（休閑年数）×陸稲品種相互作用を解明し、改良品種の低肥沃度条件下での高収量を確認した。この成果は焼畑等生産性が劣る条件下で高収量を得るための品種特性の解明に大きく寄与する貴重な知見である。
- (5) 熱帯林の優占種の一つでありながらバイオマスデータが乏しかった熱帯竹類について、バイオマス計測手法とバイオマス推定の式・係数を作成し公表した。熱帯竹林の生態系炭素吸収量の推定結果を公表した（熱帯竹林の初例）。
- (6) 焼畑農地における炭素蓄積機能と林産物生産機能の休閑期間に対する変化が同調的であることをはじめて明らかにした。これは非木材林産物や生物多様性の動態に関する貴重な知見を提供する。
- (7) 焼畑地帯における人口増加と食糧・資源問題、さらには環境影響問題の相互関係の構造を社会科学的に分析した結果は、今後、途上国における地球環境問題の社会経済的側面からの研究に有用な情報を提供するものである。
- (8) ENSOの地域降水量に対する影響、ならびに地域降水量の稲生産性に対する影響等メソスケールの気象因子の焼畑生態系に対する影響をはじめて明確にした。

III. 成果の地球環境政策への貢献

- (1) 本研究は途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧安全保障とカプリングした状況での炭素削減問題に直接コミットした研究であり、近年のREDD等の動向に対する先駆的な研究として位置づけられる。ラオス北部をはじめ山岳東南アジアでは、生態系炭素ストックの増強は、森林資源および食糧の持続的生産と同義的な関係にあるため、本研究で検討した食糧生産性を増強する作付システムを含むシナリオは、現地住民の福祉に貢献する形で地球環境保全にも寄与する道を示したといえる。
- (2) 本研究で構築した衛星データと地上での調査データを統合する土地利用・生態系炭素ストックの評価スキームは、IPCCのガイドラインで提示されている最高水準の精度を達成するためのTier3に相当するもので、これまでデータの乏しかった途上国や山岳地域における土地利用・生態系炭素ストックの評価法や広域的なモニタリング手法として有用である。公表論文に対して、すでにGTZなど国際的な開発支援機関が高い関心を示しており、持続的開発プロジェクトの基礎等として活用されるものと考えられる。今後さらに関連学術誌や内外のシンポジウム等で公表していく予定である。
- (3) 本研究で得られた各陸稲品種の土壌肥沃度への適応性に関する情報は、品種普及活動に際して、農民による適切な品種選択に大きく役立つ。実際に、いくつかの品種はNAFReC付近の農家に採用されている。また、本研究で提案した新規な土地利用・作付システムは生態系炭素ストック増強策として、CDM事業のオプションのひとつとなる可能性がある。
- (4) 竹はアジアを中心に熱帯林の優占種の一つであるが、バイオマスデータはごく乏しくLULUCF-GPGにもデフォルト値は示されていない。本研究で開発した地下部を含むバイオマス調査手法や、バイオマス推定式・係数はラオスだけでなく、中国やインドシナの他の地域など竹資源の多い国にとつ

て貴重な情報となる。インドネシア林業省がホームページで公開を予定しているCDM植林支援データベースに収録し、CDM植林の推進等に貢献した。

以上のように、本研究は途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧安全保障とカブリングした状況での炭素削減問題に直接コミットした研究であり、学術的な水準が高いだけでなく、近年のREDD等の動向に対する先駆的な研究と位置づけられ、今後の展開が期待される。

IV. 研究概要

1. 序（研究背景等）

山岳地帯の焼畑による移動耕作は、本来、急傾斜の土地状況におけるひとつの自然発生的な農業形態であり、山岳の恵みに対する敬意と自然共生的な価値観とあいまって古来より行われてきた山地の生態均衡的な農業的土地利用であった。しかし近年、山岳東南アジアでは焼畑面積と利用圧の拡大が顕著になり、自然資源の劣化が急速に進みつつある。それは土壌の流亡、肥沃度の低下など食糧生産性の問題だけでなく、CO₂の放出と炭素蓄積機能の低下を介して温暖化などメソスケールの気候変化にも少なからぬ影響を与えることが懸念されている。

したがって、フードセキュリティとともに地球環境的視点からもこれを改善することが期待されている。すなわち、焼畑生態系における食糧生産力と農業の収益性を改善しつつ、同時に当該地域の生態系のCO₂吸収能を高めるための生態系管理技術を確立することが重要な課題となっている。しかし、山岳東南アジアにおける基礎データはいまだ希少であり、特にこれらを同時に考慮した研究は見当たらない。そのため、土地利用変化の実態や焼畑地・休閑地の炭素収支要素の基礎データを集積することによって生態系の炭素動態を解明すること、ならびにそれらに基づいて生態系の炭素固定機能と食糧生産力を増進するための土地利用・作付システムを考案することが求められている。

2. 研究目的

貧困問題と地球環境問題が不可分な状況になっているラオス北部山岳地帯（図2）の焼畑生態系に着目し、①広域的かつ正確な実態観測に基づいた土地利用およびバイオマス等基礎諸量の動態解明、②食糧生産性が高く生態系スケールでの炭素固定シンクを増強する持続的な土地利用・作付体系の考案と検証、ならびに、③それを導入した場合の生態系スケールの炭素動態の評価を行い、これらを通して、生態系炭素固定容量の増強と食糧生産・資源保全に資する技術オプションを提示することを目的とする。以上により、焼畑生態系を地球科学的な観点で定量評価し、現在、温暖化防止政策に関して最も不確実性の高いとされている「土地利用変化および森林変化（LULUCF）」の問題に対して不足している科学的情報を提供するとともに、焼畑面積の増大・森林破壊・生産性の低減化の悪循環の改善に資する。

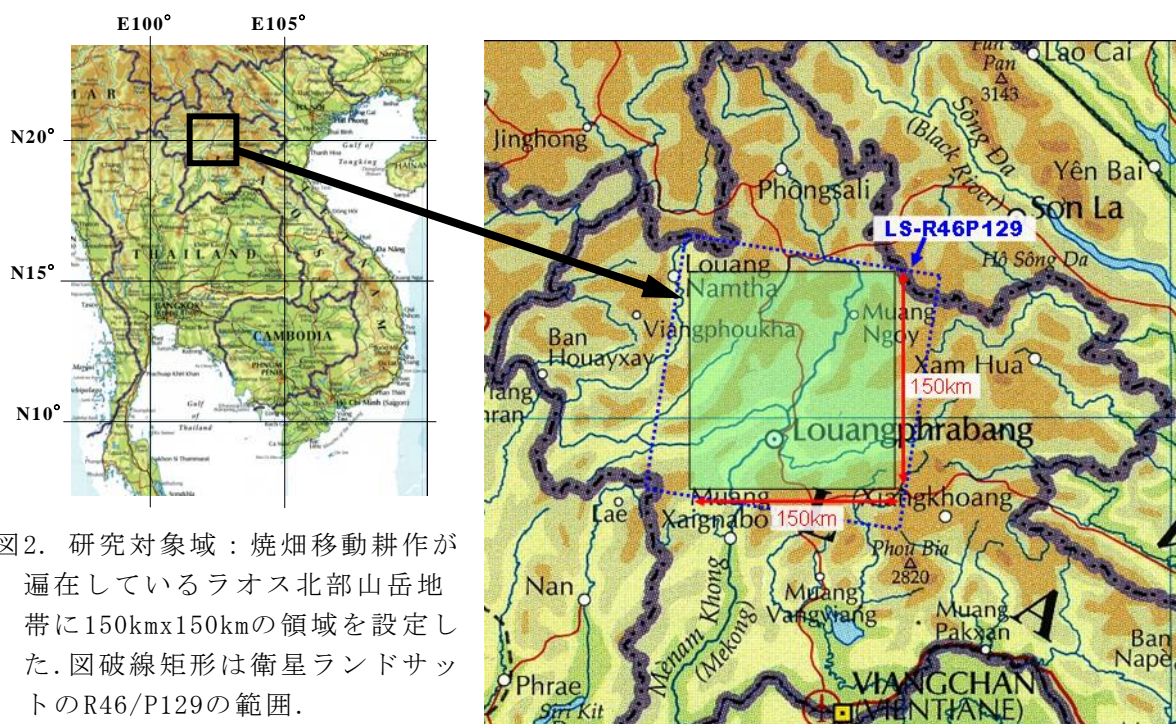


図2. 研究対象域：焼畑移動耕作が遍在しているラオス北部山岳地帯に150kmx150kmの領域を設定した。図破線矩形は衛星ランドサットのR46/P129の範囲。

3. 研究の方法と結果

焼畑生態系における土壌炭素、休閑バイオマス、土地利用等炭素動態に関する基本諸量の測定を進めデータを充実させるとともに、これらを総合化して生態系スケールにおける炭素固定容量の広域的評価を行った。また、生態系炭素ストックを増強する土地利用・作付システムの技術要素とシステム化のための実験を進めるとともに、現地への導入・普及に関する社会的受容性を分析し、代替シナリオの構成要素ならびに成立条件等に見通しをつけた。

(1) 焼畑地における土壌炭素動態の解明

焼畑栽培での稲作付け期および休閑期における炭素収支構成要素の測定により、土壌炭素ストックの経年変化の解明を進めた。Luang Prabang県内の3年生および10年生休閑地において、火入れ前後の炭素動態を測定した結果、火入れ前の全植生炭素ストックは8.5 tC/ha (3年休閑区) および45.3 tC/ha (10年休閑区)、火入れ後のそれはそれぞれ0.09 tC/ha (火入れ前の1%) および5.50 tC/ha (同12%) となり、火入れにより炭素ストックの大部分がCO₂として放出されていることを明らかにした。

また、焼畑作付地と休閑経過年数(1~20年目)の異なる11地点の土壌呼吸量は、年間12.5~21.3 tC/ha/yrと推定され、作付中に最も小さく休閑年数の経過とともに増加した。この変化は主に植物体地下部重の増加に起因していた。地上部バイオマスの系年増加量、リター・枯死根の発生量と土壌腐食への分配率などを考慮して試算した土壌炭素含量(SOC)の時系列変化から、火入れ後SOCがもとの水準に戻るには11年間の休閑が必要と推定した。

(2) 食糧生産性の改善と炭素固定に寄与する作付システムの開発

農家圃場のイネ生産性は休閑年数の減少に伴って低下し、試験場の収量は作付期間中の降水量と正の相関を示した。イネ収量に対する各種肥料要素の施用効果のうち、窒素の施用効果が顕著であった。休閑が短いほど雑草が多くなり年間労働投入の半分以上が除草に当てられていた。これらより、ラオス北部焼畑地帯のイネ生産が、降雨量、休閑年数、土壌窒素供給および雑草害による強い制約を受けている実態が明らかになった。

また、現地圃場試験により、近年の改良陸稲品種は在来品種に比べて明らかに高い収量を上げることが明らかにした。各種有用植物の収益性、被覆作物・緑肥としての有用性を検討し、ペーパーマルベリーおよびスタイロの休閑時導入が有望であることをみとめた。それらに基づいて、在来品種の1年作付けと3年の休閑を繰返す現在の慣行作付体系に対して、改良品種を導入し、イネを2年連作にするともに休閑期間を延長し、冬季にスタイロ、休閑初期にペーパーマルベリーを導入し、作付面積率を減らすとともに休閑期間をさらに8年まで延長する体系を考案した。この作付システムにより、米の増産と換金作物による収入が見込まれ、土壌肥沃度に影響するSOCの収支が現行よりも明らかに改善されると試算した。

(3) 休閑植生の炭素ストック動態の解明

焼畑休閑地の植物群落に設けた固定試験地で、バイオマスと枯死立木竹の定期調査を継続した。群落バイオマスは休閑年数とともに増加し、最後の収穫から15年を経過した時点で約100 Mg ha⁻¹に達した。休閑期間を延長したときに期待される休閑期間平均のバイオマス、枯死木、リターの3炭素プールの炭素蓄積量合計を予測する式を作成し、休閑期間の延長の効果を評価したところ、休閑期間の2年から5年への延長は休閑期間を通した炭素蓄積量合計の平均値を14.2から25.1 Mg C ha⁻¹に増やすと予測された(図3)。また、この期間延長により、休閑林の木材や非木材林産物(NTFPs)生産の機能は増加すると考えられた。住民の林産物利用を通した休閑林からの炭素持ち出し量を推定するため、燃材採取、製炭、住宅建築について予備調査を行い、燃材採取量と焼畑造成による焼失バイオマス量の合計を推定する式を作成した。休閑後の年数、標高、休閑地放牧の有無を説明変数とする休閑地の炭素蓄積予測モデルを作成した。炭素蓄積の増加は低地で遅く、山地では速い傾向があることがわかった。

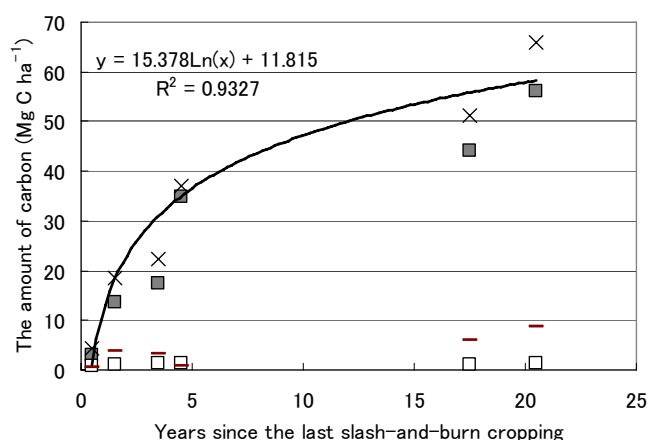


図3. 最後の収穫後の年数と群落炭素蓄積量(バイオマス、枯死木、リター)合計との関係。■: バイオマス炭素蓄積量、-: 枯死木炭素蓄積量、□: リター炭素蓄積量、×: 合計

(4) 生態系スケールにおける土地利用と炭素動態の評価

衛星データの解析による土地利用と群落齢の解析結果を、群落齢を介して、土壌および休閑群落の炭素モデルを結合する解析スキーム(図4)により、土地利用・炭素シンク/ソース容量の広域・長期の変化実態を解明し、代替管理法の改善効果を評価・予測した。

高解像度衛星ならびに長期観測衛星画像に基づいて焼畑地面積の精細な分布と時系列変化を明らかにした。焼畑面積は90年代以降年率2~5%程度で急速に増加し、2003年には多くの地域で約8~13%に達していた。(図5)また、休閑バイオマスの評価に重要な群落齢(休閑年数)の広域的な面積分布を明らかにし、短期休閑地が顕著に増加していること、休閑10年以内が約60%を占めること等を定量的に把握した。

さらに、2003~2004年時点の焼畑-休閑年数の面積比率の実態に基づいて、サブ課題(2)および(3)で得られた土壌炭素・休閑群落炭素の調査結果を総合化し、地域スケールの炭素ストックを算出した(図6)。生態系炭素ストックの長期/地域平均値は作付開始直前に対して約6.0 tC ha⁻¹ yr⁻¹であった。現状の短期休閑を、課題(2)で検討している2年作付+10年休閑の作付システム主体の土地利用シナリオに移行した場合、生態系炭素ストックは約20.7 tC ha⁻¹ yr⁻¹程度に増強されると推定した。また、この土地利用シナリオの改変にかかる費用、イネの生産性、換金作物による収益性、労働生産性の変化を地域スケールで総合的に試算し、14.8tC ha⁻¹ yr⁻¹程度の炭素ストック増を地域総収益増と両立させ得る可能性を示した。さらに、自然立地条件から類似シナリオを適用できる潜在面積はラオス北部に限定しても2万km²以上広がっていると推計した。

(5) 代替的作付システム・土地利用体系の導入のための社会経済的受容性の検討

生態系炭素ストックの増強ポテンシャルに着目して検討が進めている作付システム・土地利用シナリオに関して、それらの重要な要素である主要な導入作物の市場的・社会的受容性を広範な現地調査および関連情報・データの収集に基づいて分析した。カジノキ(Paper mulberry)は生長が速く土着のため栽培も容易で、樹皮から生産される紙原料は良質で十分な国際市場が存在し、新規体系の中に組込む意義は大きい。地域市場システムを充実させることが当面の課題である。イネの改良品種(Improved rice)の導入は食糧生産性の改善と生態系保全のための新規作付システムの鍵となる重要な要素である。ただし、高い生産性を支えるため地力増強と雑草抑制効果のあるキマメ(Pigeon pea)とスタイロ(Stylosanthes guianensis)を間混作に効果的に組入れるなどの手立てが必要となる。なお、これらの種苗は自給できる可能性が高いが、イネ新品種についての情報はまだ乏しく、今後の普及啓蒙活動の必要性が高い。

4. 考察

本研究の主要なポイントは、④焼畑利用における炭素シンク容量・食糧生産性・収益性等の面から

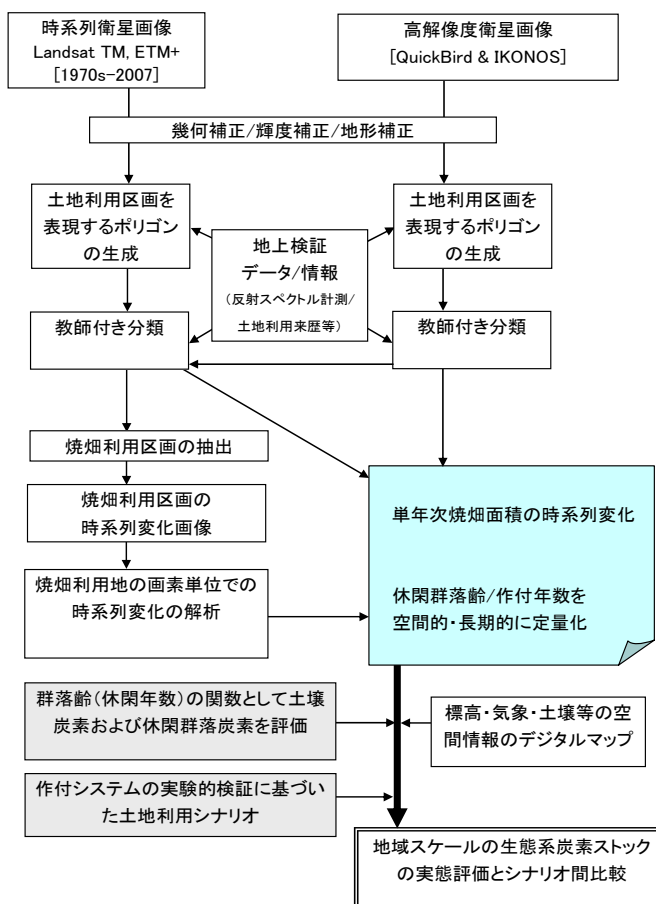


図4. 衛星データによる焼畑土地利用の時系列変化の定量化と生態系炭素ストック評価の解析スキーム

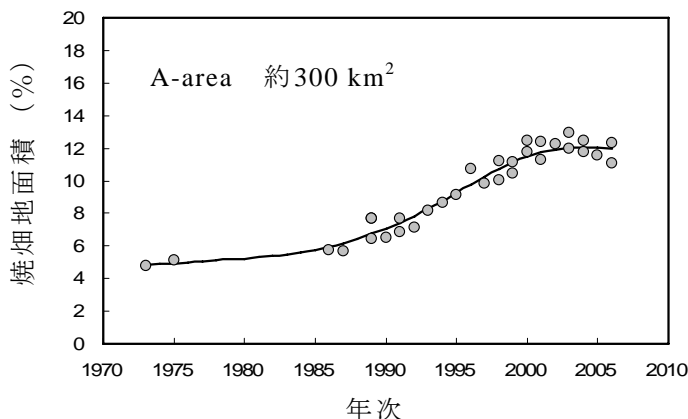


図5. 多時期のLandsat衛星画像の解析による焼畑地の面積比率の推移

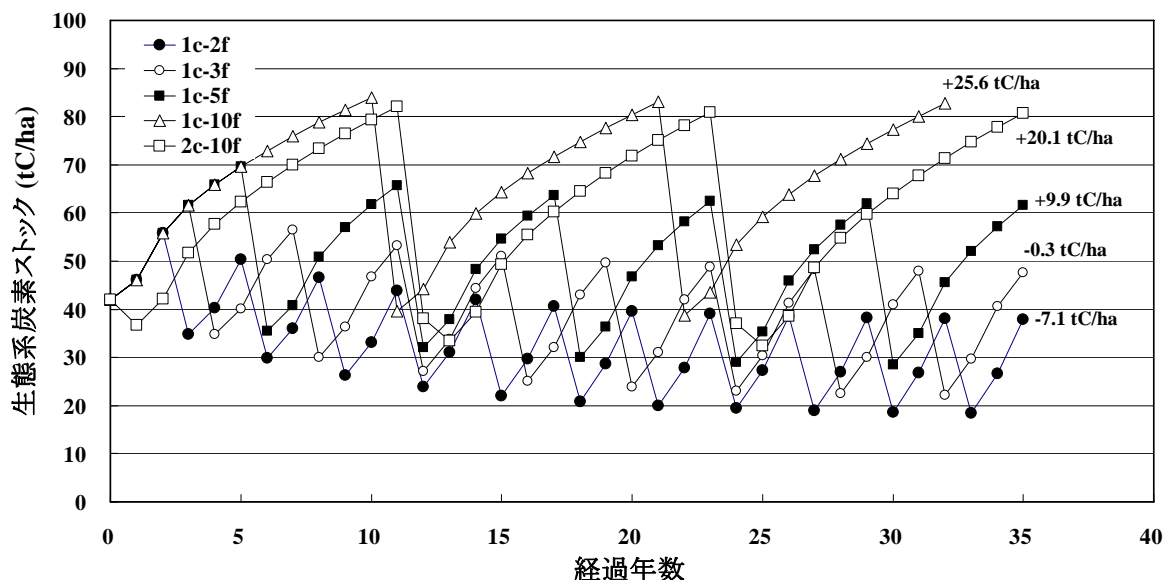


図6. 焼畑-休閑サイクルの違いによる生態系炭素ストックの相対変化の試算
 注) 1c-2fは1年焼畑栽培-2年休閑のサイクルを示す。図中の数値は各サイクルの長期平均値の伐採直後初期値に対する比較。

みた作付システムの比較検討、⑧ 休閑地の植生回復過程における休閑バイオマスの評価、および、
 ©焼畑土地利用の長期的・広域的な実態解明ならびに④⑧を総合化した土地利用・炭素シンク/ソース容量の推定である。

研究対象としている地帯では、主として焼畑 - 休閑のサイクルと面積が生態系スケールの炭素収支を大きく決定していることから、まず、焼畑面積と休閑期間の実態を明らかにし、休閑年数（休閑群落齢）をベースに土壌・植生の炭素プールを半経験モデル等によって定量化し、長期的にみて生態系炭素ストックを増強できる土地利用・作付システムのあり方を評価するアプローチをとっている。地形が複雑でかつ傾斜地が多いこと、休閑地は多数の植物種からなる混成群落であること、バイオマス等の実測データを取得する地点に制約があることなどから、最も現実的かつ堅牢性の高いアプローチと考えている。

これまでに得られた結果によって、休閑期間の短縮と焼畑地面積は過去10年に確実に増加していることが定量的に検証された。これまで聞き取り調査等により断片的・定性的にしかとらえられていなかった実態を、定量的空間的にとらえたことの意義は大きい。また、広範なデータの統合化に基づいて、はじめて当該地域における生態系炭素ストックの広域的・定量的評価に道を拓いた学術的意義も高いと考えられる。

研究期間中、高解像度衛星画像の取得に対応して精査域を中心に地上踏査を進め、その際、村落での聞き取り調査もあわせて行ってきた。それによると、部族(Ethnic Group)や個々の村落の来歴等によって変異はあるものの、人口増加は年率3%程度と依然高い水準で続いており、かつ政府による土地利用規制のもと、短期休閑面積の増加および休閑期間の短期化に伴う稲収量の減少・雑草害増加がいずれの集落においても深刻化していた。収量低下・雑草繁茂・労働生産性の低下の進行は不可避と考えられる証拠も豊富である。村落によっては、すでに土地の疲弊が原因で農業生産と食糧の自給をあきらめざるを得ない状況がみられ、多くの村落においてそれは時間の問題であると考えられた。これに呼応するかのように他国資本によるゴムプランテーションの進出し年々急激に拡大している。しかし、ゴムプランテーションの開設はアクセスがよく優良な土地において選択的に行われており、焼畑地の自然立地条件とその遍在性からみて焼畑地の大部分は存続するものと考えられる。

一方、食糧生産をあきらめず増加する人口を扶養するため、やむなく超法規的に土地利用規制を破って長期休閑地をあらたに短期休閑地に加えるという選択も随所に見られた。衛星データの解析による焼畑面積率の推移から増加率には近年頭打ち傾向が認められたが、ラオス北部山岳地帯のきわめて広範な地域において、焼畑は今後も多くの部族・地域において主要な食糧生産土地利用体系として続けられることは間違いない。

したがって、食糧・資源の生産性を増強し、かつ生態系としての持続性を維持向上させるための戦略とそのために必要なシナリオと技術開発が不可欠な状態といえる。休閑期間の長期化とイネの収量性と持続性を可能にする土地利用・作付システムの開発と普及は、重要な現実的方策のひとつであると考えられる。

本課題で検討しているイネ品種・作付システムには、現地政府機関なども高い関心を寄せており、

本年度の結果はその実現を支ええるものとなっている。対象域でのコメ充足率は低く、現地の主要な関心事は食糧確保である。しかし、本年度の結果は、休閑期間が非木材林産物の豊富さとも関係していることを示唆しており、炭素固定機能改善効果、森林資源涵養効果とセットになった形で現地住民と広域環境の保全に貢献する効果が見込まれる。

土地利用・生態系管理方式の改変によるアプローチは、単位面積あたりの炭素シンク増強効果は比較的希薄なものであるが、山岳東南アジアには同様な焼畑生態系が大きく広がっていることから、同様なアプローチによる炭素固定効果は少なくないと考えられる。本アプローチは山岳地帯における焼畑の必然性を一定踏まえ、かつ現地住民にとって切実な稲の生産を機軸においたもので、特別なインフラや投資を必要とせず、既存の農業技術普及体制にマッチするものである。

コストの試算結果からは、炭素固定に伴う収益を加えずとも、地域スケールでの増収・増益が示唆されており、食糧確保・森林資源涵養と環境保全・炭素固定・収益性を同時に実現できる可能性がある。本研究成果には、海外の国際開発支援機関等が高い関心を示しており、今後さらに実用化や普及を担う現地農業関係機関・海外援助機関等との協力関係のもと、有望な技術オプションのモデルをできるだけ多様な形で提示することが重要になると考えられる。

本研究は途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧安全保障とカブリングした状況での炭素削減問題に直接コミットした研究であり、学術的な水準が高いだけでなく、近年のREDD等の動向に対する先駆的な研究と位置づけられ、今後の展開が期待される。

5. 研究者略歴

テーマ代表者：井上吉雄

1953年生まれ、京都大学大学院（工学研究科・農学研究科）修了、農学博士、現在、（独）農業環境技術研究所生態系計測研究領域、上席研究員

主要参画研究者

(1)：井上吉雄（同上）

(2)：白岩立彦

1958生まれ、京都大学農学部卒業、現在、京都大学大学院農学研究科、教授

(3)：清野嘉之

1955生まれ、東京大学大学院（農学研究科）修了、農学博士、現在、（独）森林総合研究所温暖化対応推進拠点、拠点長

6. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) Y. Inoue: Plant Production Science, 6, 3-16 (2003) “Synergy of remote sensing and modeling for estimating ecophysiological processes in plant production”
- 2) P.L. Nagler, Y. Inoue, E.P. Glenn, A.L. Russ, C.S.T. Daughtry: Remote Sensing of Environment, 87, 310-325 (2003) “Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil - plant litter scenes”
- 3) E. Choi, 井上吉雄: 農業気象, 60, 33-41 (2004) 「黒ボク畑地におけるCO₂フラックスの動態と熱赤外放射測温による土壌面温度との関係」
- 4) E. Choi, 井上吉雄: 農業気象, 60, 43-53 (2004) 「作物群落における蒸散、蒸発散と日射強度および分光反射特性の関係ーリモートセンシングと日射法に基づいた群落蒸散の簡易評価についてー」
- 5) Y. Inoue and A. Olioso: 日本リモートセンシング学会誌, 24, 1-17 (2004) “Synergistic linkage between remote sensing and biophysical models for estimating plant ecophysiological processes”
- 6) Y. Inoue and A. Olioso, E. Choi: International Journal of Remote Sensing, 25, 1881-1892 (2004) “Dynamic change of CO₂ flux over bare soil field and its relationship with remotely sensed surface temperature”
- 7) Y. Inoue and A. Olioso: Global Environmental Change in the Ocean and on Land (Eds, Shiyomi, M. et al.), Terrapub, 375-390 (2004) “Estimating dynamics of CO₂ flux in agro-ecosystems based on synergy of remote sensing and process modeling - a methodological study - “
- 8) Y. Inoue and A. Olioso: 農業気象, 60, 561-564 (2005) “Synergy of remote sensing and biophysical process-based modeling for estimating dynamics of CO₂ flux in agro-ecosystems”
- 9) A. Olioso, Y. Inoue, S. Ortega-Farias, J. Demarty, J.P. Wigneron, I. Braud, F. Jacob,

- P. Lecharpentier, C. Ottlé, J.C. Calvet, N. Brisson: *Irrigation and Drainage Systems*, 19, 377-412 (2005) "Future directions for advanced evapotranspiration modeling: Assimilation of remote sensing data into crop simulation models and SVAT models"
- 10) Y. Inoue and A. Olioso: *Global Climate Change and Response of Carbon Cycle in the Equatorial Pacific and Indian Oceans and Adjacent Landmasses* (Eds. Kawahata, H and Awaya, Y.), p. 295-333, Elsevier, Amsterdam. (2006) "Methods of estimating plant productivity and CO₂ flux in agro-ecosystems - linking measurements, process models and remotely sensed information - "
 - 11) Y. Inoue and A. Olioso: *Journal of Geophysical Research*, 111, D24S91, doi:10.1029/2006JD007469. (2006) "Estimating dynamics of ecosystem CO₂ flux and biomass production in agricultural field on the basis of synergy between process models and remotely sensed signatures"
 - 12) Y. Inoue and J. Penuelas: *International Journal of Remote Sensing*, 27, 5249-5254. (2006) "Relationship between light use efficiency and photochemical reflectance index as affected by soil water content"
 - 13) Y. Inoue, J. Penuelas, A. Miyata, M. Mano: *Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, 2, 455-460 (2007) "Relationship of reflectance spectra with light use efficiency and canopy CO₂ flux at canopy scale"
 - 14) Y. Inoue, J. Qi, A. Olioso, Y. Kiyono, Y. Ochiai, T. Horie, H. Asai, K. Saito, T. Shiraiwa, L. Douangsavanh: *International Journal of Remote Sensing*, 28, 5641-5648 (2007) "Traceability of slash-and-burn land-use history using optical satellite sensor imagery: a basis for chrono-sequential assessment of ecosystem carbon stock in Laos"
 - 15) Y. Inoue, J. Penuelas, A. Miyata, M. Mano: *Remote Sensing of Environment*, 112-1, 156-172 (2008) "Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO₂ flux measurements in rice"
 - 16) 井上吉雄: *日本作物学会紀事*, 77, 233-235 (2008) 「多波長画像からの形態情報抽出法－細胞組織から生態系まで－」
 - 17) Y. Inoue, J. Qi, A. Olioso, Y. Kiyono, Y. Ochiai, K. Saito, H. Asai, T. Horie, T. Shiraiwa, L. Dounagsavanh: *International Journal of Remote Sensing*, 29, 2011-2019 (2008) "Reflectance characteristics of major land surfaces in slash-and-burn ecosystems in Laos"
 - 18) Y. Inoue, J. Qi, Y. Kiyono, Y. Ochiai, S. Saito, H. Asai, T. Horie, T. Shiraiwa, L. Dounagsavanh, A. Olioso: *Advances in Remote Sensing and Geoinformation Processing for Land Degradation Assessment*. Taylor & Francis (2008) (in press) "Land use and carbon stock capacity in slash-and-burn ecosystems in mountainous mainland of Laos"
 - 19) B.A. Malmgren, R. Ranatunge, G. Lindeberg, Y. Inoue, Y. Hayashi, T. Mikami: *Theoretical and Applied Climatology*, 89, 115-125 (2007) "Oscillatory behavior of monsoon rainfall over Sri Lanka during the late 19th and 20th centuries and its relationships t SSTs in the Indian Ocean and ENSO"
 - 20) L. Douangsavanh, V. Manivong, A. Polthanee, R. Katawatin and Y. Inoue: *Journal of Mountain Science*, 3, 247-258 (2006) "Indigenous knowledge on soil classification of ethnic groups in Luang Prabang Province of the Lao PDR"
 - 21) L. Douangsavanh, A. Polthanee and R. Katawatin: *Journal of Mountain Science*, 3, 48-57 (2006) "Food security of shifting cultivation systems: case studies from Luang Prabang and Oudomxay Provinces, Lao PDR"
 - 22) K. Saito, B. Linqvist, G.N. Atlin, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: *Field Crops Research* 96, 216-223 (2006) "Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos"
 - 23) K. Saito, B. Linqvist, B. Keobualapha, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: *Field Crops Research* 96, 438-447 (2006) "Stylosanthes guianensis as a short-term fallow crop for improving upland rice productivity in northern Laos"
 - 24) K. Saito, B. Linqvist, B., Keobualapha, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: *Plant and Soil* 284, 175-785 (2006) "Cropping intensity and rainfall effects on upland rice yields in northern Laos"
 - 25) K. Saito, B. Linqvist, B., Keobualapha, T. Shiraiwa, T. Horie: *Geoderma* 136, 64-74 (2006) "Farmers' knowledge of soils in relation to cropping practices: A case study of farmers in upland rice based slash-and-burn systems of northern Laos"

- 26) K. Saito, G.N. Atlin, B. Linqvist, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: Crop Sci. 47, 2473-2481 (2007) "Performance of traditional and improved upland rice cultivars under nonfertilized and fertilized conditions in northern Laos"
- 27) H. Asai, K. Saito, B. Samson, K. Vongmixay, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, K. Homma, T. Horie: Proc. The 2nd International Conference on Rice for the Future, November 5-9 2007, Bangkok, Thailand (2008) (in press) "Quantification of soil organic carbon dynamics and assessment of upland rice productivity under the shifting cultivation systems in northern Laos"
- 28) Y. Kiyono, Y. Ochiai, Y. Chiba, H. Asai, K. Saito, T. Shiraiwa, T. Horie, V. Songnoukhai, V. Navongxai, Y. Inoue: Journal of Forest Research, 12, 371-383 (2007) "Predicting chronosequential changes in carbon stocks of pachymorph bamboo communities in slash-and-burn agricultural fallow, northern Lao People's Democratic Republic"
- 29) 清野嘉之, 千葉幸弘, 浅井英利, 白岩立彦, 井上吉雄: 関東森林研究, 59, 149-152 (2008) 「ラオス北部山岳地の焼畑休閑林の生長と乾季の日の出前の湿度」

(2) 査読付論文に準ずる成果発表 (社会科学系の課題のみ記載可)
なし

S-2-3b-10