時系列高分解能衛星画像を用いたラオス北部の焼畑モニタリング

Slash and Burn Monitoring using Temporal High Resolution Satellite Data in Northern Laos

長澤良太・アワード・キショール・サー・山下 恵

Ryota NAGASAWA, Awadh Kishor SAH and Megumi YAMASHITA

Abstract : There has been a large amount of slash and burn agricultural activity from ancient times in Northern Laos. This study focuses the environmental impact of slash and burn on the forest ecology by mean of spatial and temporal analysis of high resolution satellite data. A Geographic Information System (GIS) was also used for analyzing the relationship between the slash and burn and forest vegetation, topography and social factors. Then, the sustainability of slash and burn was examined by the ecological analysis of the shifting pattern and fallow duration derived from the image interpretation. As a result of study, a total of 89,000 ha of slash and burn fields within 172,000 ha of fallow lands were detected during the past 10 years. Although the recent increase of population pressure caused an expansion of slash and burn fields (11,000 ha in 1987 to 19,000 ha in 1997), most parts (80%) of those fields are still maintaining the traditional conditions of having more than 7 years fallow duration. It can be said that such slash and burn is sustainable because of its ecologically balanced cycle of cultivation. Based on the analysis, it is concluded that slash and burn agriculture is not always a cause of environmental deterioration in the study area. More important is the introduction of a well managed methodology of forest resources for future sustainable development. In this sense, it can be recommended that remote sensing and GIS technology play a more important role in the monitoring of slash and burn agricultural practices.

1 はじめに

焼畑は、熱帯地域のいたるところで昔より延々と繰り返されてきた伝統的農耕のひとつである。その多くは自然の生態系のなかで展開され、自然のリズムにもとづく土地の回復と文化・社会的特性のバランスのうえに成り立ってきた農法であった（井上 1995）。この伝統的農業が熱帯林消失の元凶として、一国あるいは熱帯地域での大きな環境問題となったのは、長い焼畑の歴史からみればつい最近のことである。しかしなが

ら、その実態が十分に把握されたうえでの議論は少ない。

焼畑耕作の形態は多岐にわたっており、森林に与える影響の度合いも多様である。このような焼畑の多様性と環境問題との連関性を明らかにするためには、まず焼畑の空間的分布とその時系列的変化を把握することが重要である。従来、焼畑の問題は民族地理学や村落社会学の領域で研究されてきたが、その対象は焼畑村落の社会構造とその変容を人文・社会学的に捉えることが中心で、焼畑の広域的な分布や森林生態系との関係については、把握ツールがなかったこともあってあまり目が向けられなかった。今後、地球環境や開発途上国の地域環境が多く論じられていくうえで、焼畑の時空間的な把握はひとつの大きな環境研究の課題になると同時に、従来から焼畑研究を行ってきた人文・社会系の研究者には貴重なデータを提供し得るのである。

そこで、筆者らは今なお多くの焼畑が分布するラオス北部において、多時期にわたる高分解能衛星画像を

用い、焼畑の分布と変化・移動のパターンが把握できるようなデータの作成を行った。抽出された焼畑とそれを取りまく植生、地形、社会環境条件との関係については、GIS(地理情報システム)を用いて焼畑が生じる「場」を中心に考察した。そして、時系列解析により明らかにした焼畑耕作地の輪廻と周期性の問題について論じ、人間—環境系のなかでその持続可能性について言及した。

2 ラオス北部の焼畑の概要

本研究で対象とした地域は、ラオス人民共和国の北部、ルアンプラバン州の州都で世界遺産に指定されている古都、ルアンプラバン市を取りまく山岳地域である(図1参照)。解析を行ったのは、この地域を撮影したSPOT衛星(K263/J310)の範囲(約34万ha)で、行政的な州全体はカバーされていない。

2.1 焼畑の定義

焼畑には様々なタイプがあり、それは民族、伝統文化、自然環境などの要因によって規定されている。ここでは、井上(1995)の分類に従い、大きく伝統的焼

畑と非伝統的焼畑に大きく分けて考える。山岳民族によって営まれる伝統的な焼畑は、比較的長い休閑サイクルを持ち自然の森林生態系と調和した持続可能な農業形態で、森林消失の原因とはならない。何故ならば、彼らの森林への関与は搾取的なものでなく、森林を焼いた耕作の後には必ず十分な休閑期間を取り、一定の範囲内で周期的に移動する。休閑期間には、熱帯地域の活発旺盛な植物活動によって森林は回復する。これに対して、もともと低地に住んでいた土地なし農民が、近年の社会構造の変容から山地に入り込み、焼畑を行う場合がある。これらの侵入者は、山奥というよりはむしろ山裾に多く、森林を焼き払った土地を恒久農地として扱い、地力が衰えるまで酷使し、最終的には放棄して荒地地となる。そこでは、森林に回復することは困難である。

2.2 ラオス北部の焼畑分布の特徴

ラオスにおける焼畑面積は、FAOの統計によると283,780ha(1988)で、約250,000世帯で焼畑耕作を営んでいる。州別の統計では、今回の対象地域が属するルアンプラバン州が約56,000ha(焼畑面積率3.1%)で最も多く、さらに焼畑全体の70%以上はラオス北部の7州に集中している。

ラオスにおける焼畑の実際は、民族と自然環境条件に規制されている。すなわち、ラオス北部は山岳地が広く、まとまった農耕地を提供できるような平野はほとんど見られない。この地域ではモン族、ヤオ族が伝統的に焼畑を行ってきており、自分らの住む集落から

図1 調査地域の概念図

写真1 焼畑の空撮写真

一定の周囲で森林を焼き払い耕地を得ている（写真 1 参照）。焼畑は基本的に集落共同体（コミュニティ）を単位とした活動で、1 集団が 8～15 家族で構成されている。ひとたび耕作してから次に同じ土地を耕作するまでの周期は 10 年程度であり、この間に 1 家族あたり 10～30ha の土地（焼畑）を必要とし、1 集団あたりでは数 100ha を必要とする。

この伝統社会において、近年特に問題とされているのが人口圧の増加である。伝統的な焼畑社会であっても、そこに急激な人口の増加があり元来の焼畑の休閒サイクルに負荷がかかると、それまでの自然（森林）一人間（生産活動）系のバランスが崩れ、休閒期間が短縮化したり、新たな森林（天然林）が焼かれたりして環境破壊が発生する。この問題こそが本研究で焼畑のモニタリングが必要と考えた理由のひとつである。

3 時系列画像データの処理と GIS 解析

焼畑は一定の休閒期間を持って毎年移動するために、その現象を復元するには時系列的な解析が不可欠である。対象地域の焼畑は通常 7～10 年程度の休閒周期を持つと言われているので、最短でも 10 年間にわたるモニタリングが必要である。そこで、本研究では 1997 年から 1987 年までの 10 年間に遡って高分解衛星画像の検索を行い、表 1 に示すような SPOT/HRV, LANDSAT/TM, JERS/VNIR の各センサーデータから 7 時期の雲なし画像データを入手した。季節的には、対象地域の焼畑の収穫が終わる 12 月頃から翌年、森に火が入る直前の 2 月頃（乾季）のデータをできるだけ得るようにした。

3.1 画像判読と焼畑分布の特性

幾何補正の後、疑似カラー合成した 7 時期の画像データについて、ディスプレイ上で目視判読により焼畑を抽出した。耕作の終わった焼畑はたいていの場合裸地化しており、色調のみからは常畑や荒れ地との区別が付きにくい。そこで、マルチウィンドウを用いて判読対象の画像に前後する時期の画像を同時に表示し、時系列的な変化に留意できるような判読を行った。また、10 万分の 1 の地形図から作成した DEM も併用し、焼畑の分布する傾斜地の部分に特に注目した。

焼畑は除草などの重労働を伴う作業であるため、1 世帯での平均耕作面積は 2 ha 以下である。これが通常 15 世帯前後のコミュニティで行われているので、上空から塊として捉えた場合、30ha 程度のユニットで把握されることになる。このために判読に際する画像の解像度としては、SPOT/HRV の場合で 1 辺が 20～30 ピクセルの焼畑地域を抽出するようにした。これは、ディスプレイ上の目視判読で十分対応できる大きさである。

図 2 は対象地域の時系列的な焼畑分布図で、その面積集計結果を表 2 に示す。1987 年に約 11,000ha であった焼畑がこの 10 年間に増加の一途を辿り、1997 年には約 19,000ha に達している。焼畑の面積占有率でみると、3.2% から 5.6% まで増加しているが、その増加の加速度は最近幾分低下傾向に向かっている。また、7 時期に抽出されたすべての焼畑を重ね合わせ、この 10 年間中の 7 耕作年に焼畑に供された土地の面積を求めると約 89,000ha となり、全面積の 1/4 以上が焼畑耕作地であることが明らかになった。

表 1 使用した衛星画像データのリスト

センサーの種類	取得年月	間隔	パス (K) / ロウ (J)	解像度
SPOT-HRV	1987 年 2 月 27 日		K264/310J	20m
LANDSAT-TM	1989 年 3 月 25 日	25 カ月	P129/046R	30m
SPOT-HRV	1990 年 12 月 12 日	21 カ月	K264/310J	20m
LANDSAT-TM	1993 年 12 月 25 日	36 カ月	P129/046R	30m
SPOT-HRV	1994 年 10 月 21 日	10 カ月	K264/310J	20m
JERS-VNIR	1995 年 12 月 28 日 12 月 29 日	14 カ月	P125/267R P126/267R	18.4m
LANDSAT-TM	1997 年 2 月 3 日	14 カ月	P129/310J	30m

図2 時系列衛星画像の判読による焼畑分布図

表 2 焼畑面積の時系列変化

時期	間隔	判読対象 地域 (ha)	焼畑面積 (ha)	焼畑面積率	期間増加 面積 (ha)
1987年 2 月	—	341,648	11,053	3.23%	—
1989年 3 月	25ヵ月	341,648	14,300	4.19%	3,247
1990年12月	21ヵ月	341,648	14,605	4.27%	305
1993年12月	36ヵ月	341,648	16,044	4.70%	1,439
1994年10月	10ヵ月	341,648	17,756	5.20%	1,712
1995年12月	14ヵ月	341,648	18,088	5.29%	332
1997年 2 月	14ヵ月	341,648	19,102	5.59%	1,014

3.2 焼畑の「場」としての植生条件

対象地域は東南アジア大陸部の内陸山岳地にあって、大局的には熱帯、亜熱帯性の常緑、落葉の混交林が被っている。焼畑との関連で植生をみる場合、そこが天然林か 2 次林であるかを区分することがまず重要である。伝統的な焼畑の場合、1 年間耕作に供した土地はその後 7～10 年の間休閑地となる。この間に、火

入れが行われた木々は樹高 7～8 m の 2 次林として再生し、休閑林を構成するようになる。しかしながら、休閑林は多くの場合樹冠密度が 20% 以下の落葉・混交林、竹林からなる開放林であり、常緑や落葉・混交の樹冠で覆われた閉鎖林から構成される天然林とは異なる。

本研究では時系列 NDVI 値を用いて森林区分を試

図 3 3 時期の NDVI 合成画像

み、それと焼畑分布との関係について考察した。ここで必要とされる森林区分とは、焼畑の分布箇所が休閑林か天然林かという「場」の問題であるので、両者を樹幹密度の差から区別化した。解析には3時期分のSPOT画像を用いたが、その理由として、単時期の画像ではNDVI値に季節的な影響があらわれること、その画像が撮影された年に行われていた焼畑の影響を取り除き、できる限り自然の条件下での植生を復元するためである。図3は、1987年、90年、94年の3時期の画像から求めたNDVI値を合成し、その結果を既存の植生図を参照しながら常緑林（天然林）の分布に近づくようしきい値を設定して5ランクに区分したもので

ある。図中、「やや高」と「高」に区分されたところが天然林の分布とよく対応し、その面積は138,000haで全体の約40%に相当する。一方、「普通」や「やや低」の範囲は開放林（休閑林）に対応していることが既往の森林インベントリの結果との比較から認められた。このようにして、対象地域には約172,000haの休閑林（全体の約50%）があり、焼畑の「場」を提供していることが明らかになった。

3.3 焼畑の「場」としての地形条件

東南アジア大陸部の焼畑は山岳地域にあって、傾斜地の森林を農民の手作業によって切り開いた土地であ

白い部分が焼畑を表す。

図4 焼畑分布と地形標高モデル

図5 焼畑分布と地形条件

る。開墾後の除草や収穫等は極めて重労働で、その分布は地形条件に大きく規制されることが考えられる。そこで、本研究では縮尺10万分の1地形図から100m間隔の等高線をデジタル化してDEM（地形標高モデル）を作成し、判読で抽出された焼畑分布と重ね合わせ、焼畑と地形との関係を解析した（図4参照）。

図5の面積集計結果によると、対象地域の焼畑は標高400～1,000mの地域に全体の83%が分布し、これはラオ・トゥン（モン族）やラオ・スーン（ヤオ族）の山岳焼畑民族の居住区と一致している。標高1,000mを越える地域は山地性降雨の影響で広く常緑林に被われるようになり、焼畑の分布は少なくなる。傾斜との関係を見ると、20%以下の緩斜面が61%と主体を占めるが、30%を越える急傾斜地にも27%ある。斜面方位については、日向斜面となる南東向きの斜面にピークが現れている。

3.4 焼畑の「場」としての社会条件

焼畑分布の特性が文化・伝統、民族、経済、交通アクセス等の社会構造条件と如何に関係するか明らかにするためには、焼畑村落ひとつひとつの詳細な社会調査の結果に期待するほかにない。その因果関係は、自然環境条件よりはるかに複雑であろう。山岳民族による伝統的焼畑の場合、耕作地は毎年移動（周期）するが集落自体はまず移動しない。これは、焼畑自体が地域生態系のバランスなかで持続可能な状態にあることをあらわしている。そこで、既往の定住集落と焼畑分布との位置関係を検討した。定住集落は1969年の地形図から抽出してGISに入力し、集落から500m、1 km、2 kmのバッファを発生させて、この範囲にある過去10年間の焼畑面積を集計した。その結果は図6に示すように、全体の75%の焼畑は既往集落から2 km バッファ内にあり、焼畑が毎年休閑林のなかを移動する範囲は生活共同体としての村を中心に2 km 圏内であることがわかる。このことから、対象地域内の大半の焼畑は伝統的なものであることが推定される。

4 焼畑の時系列的解析

時系列的な衛星画像を用いた焼畑モニタリング手法によって、焼畑という人間の生産活動が地域の環境（自然生態系）に如何に影響を及ぼすかについて考察を進める。これによって、リモートセンシング研究の立場

図6 焼畑分布と集落バッファとの関係

からどこまで地域の環境問題を議論できるかという点にアプローチする。

4.1 焼畑の輪廻と植生の回復

焼畑が休閑林のなかに分布し、十分な休閑期間を保ちながら存続することは自然の生態系にかなった生業

図7 典型的な焼畑の輪廻

であるといえる。ところが、人口圧の増加によって休閑期間が短縮化し、焼畑が休閑林の外側に飛散し天然林が焼かれることによって森林破壊が発生している。近年の環境論議のなかには、原住民の焼畑を熱帯林消失の元凶とし、焼畑対策が急務であるとする指摘がある。しかしながら、焼畑イコール環境破壊という短絡的な図式を描く前に、実際の焼畑の時空間分布と自然生態との関係を検討してみる必要がある。本研究では、高分解能の時系列データの特徴を利用して、ひとつひとつの焼畑の輪廻とそれが後に休閑地となって植生(休閑林)が回復していく過程を NDVI 値から推定した。

図7は、典型的な焼畑地域の一例として、標高約1,060mの尾根上に位置する Senkoun 集落を中心に囲む焼畑を示したものである。ここでは、1990年より焼畑の面積が拡大し(約200ha)、ひとつの小尾根がすっかり焼かれて耕地となっている。しかしながら、その耕作は毎年1年限りで順次隣接する斜面へ移動し、畑は休閑地となっていく。この地域で各年に焼畑が行われた箇所の NDVI 値の時系列変化を見ると(図

図8 焼畑・休閑地の NDVI 値の時系列変化

8 参照), 焼畑が行われた年には0.1~0.3未満の NDVI 値が数年後,あるいは翌年には通常に近い0.5以上の値に戻っていることがわかる(但し, 1987, 89, 95年の値は全体的に NDVI が低い)。このことは、焼畑が1年間のみの耕作でその後十分な休閑期間がある限り、植生は十分に回復することを示している。他の幾つかの焼畑地域でも同様の検討を行ったが、火入れが

図9 焼畑の持続可能性評価

なされた畑でもその後休閑された地域では焼畑以前と同様の植生に戻っていることが明らかになった。

4.2 焼畑の持続可能性の評価

持続可能な焼畑農業とは、周囲の森林との間で生態系バランスを維持しながら、森をこれ以上破壊することなく生業を存続させ得ることである。この持続可能性は、焼畑が行われる「場」の環境と休閑の周期に密接に関連している。この休閑周期を捉えるためには、これまで特定の焼畑村落について詳細な社会調査を行われてきた。しかしながら、この調査手法には多大な労力を要するうえに、調査地域へのアクセスなどの問題から広域且つ多数のサンプルを対象とすることができない。特に、地域生態系のなかで現象を捉えようとする視点からは、空間的にある程度広い地域を対象に時系列的なデータの利用が必要である。

図9は、1987年から97年にわたる7時期の衛星画像の判読によって抽出した焼畑をすべて重ね合わせて休閑周期を読み取り、さらに植生型との関係を考慮して分類した焼畑分布図である。ここで持続可能な焼畑としたのは、過去10年間の画像で1時期のみの焼畑が認められたところで、現時点で休閑期間の短縮化は起こしていない。このタイプの焼畑は約66,600haあり、7年以上の休閑期間が確認された約5,000haの焼畑と合わせて全体の80%を占め、伝統的焼畑とみなすことができる。しかしながら、約8,800haの焼畑は休閑期間が4年になっており、また約4,100haの焼畑が97年に新たに天然林のなかで行われた。このように、森林破壊を起こしている事実も認められる。これらの非持続的な焼畑が分布する「場」の条件は、主に天然林の地域で、地形的には従前の焼畑分布域よりも幾分標高の高い1,000m前後の山地斜面に最も多い。これらの非持続的焼畑については、今後対策を講じるための現地調査が必要で、その前段階として問題地域の同定する衛星画像解析の果たす役割は大きい。

4.3 焼畑の時空間変化

焼畑が持続的であるか否かは、その焼畑地域を取りまく地域の変容を時間的に捉える必要がある。図10は、焼畑地域の時空間変化と植生破壊との関係を模式的に示したものである。図中、いちばん外側の範囲が天然林で、そのなかに広く休閑林が散在している。ひとつひとつの休閑林地域の中心には村落があって、それを

図10 焼畑地域の時空間変化を示す模式図

取り囲む休閑地全体が村落共同体（ルーラルコミュニティ）を構成する。この休閑林のなかに焼畑があって、その場所と規模は村落共同体としての休閑地空間のなかで毎年変化する。

伝統的な焼畑は、7年以上の休閑周期を維持しつつ休閑林のなかを移動する。この場合の焼畑は持続可能な農耕形態で、新たな天然林の破壊は起きない。この安定状態を壊すのが、「休閑林＝村落共同体」内での人口圧の増加である。山間部でのこうした共同体はある意味で閉鎖空間であり、食糧増産を計るためには必然的に耕作地（焼畑）を拡大する。ひとつの地域共同体（休閑林）の面積には限りがあるので、増産を計るためには耕作の周期が短縮化し、地力がどんどん低下していく。こうなると悪循環で、休閑地は最終的に放棄され、植生の回復を導く土壌も失い、もはや休閑林（潜在的森林）ではなくなってしまう。同時に、村落共同体は新天地を求めて、それまで手をつけなかった天然林の領域に移動し、木々を伐採して耕地を作る結果となる。

このような焼畑の発展段階を考えると、すべての焼畑を直接的に、短絡的に森林破壊の元凶とみなすのではなく、まず各々の耕作地、休閑林、集落の組み合わせ

せからなる焼畑地域共同体がどの段階にあるのかを正確に把握することが大切である。そのなかで、危機的にある地域のみを抽出して、具体的な対策を講じていく必要がある。

5 保全への提言 一結語にかえて

ラオス北部の焼畑は、稲作文化以前からアジアモンスーン地帯の伝統的な農耕文化であり、地域の自然環境、民族、文化、風習とも結びついた生産行為である。今、これを短絡的に森林破壊の元凶として一方的に排除しようとしても、それは決して賢明な施策とは言えないであろう。

森林資源枯渇の原因としては、森林管理システムの欠如と伐採権を持つ人達の森林保全に関するインセンティブの欠如がまず指摘される。また、森林資源の管理計画を行うのに十分な情報、データベースの欠如にも問題がある。そのために、今後毎年の焼畑耕作地をモニタリングできるシステムを確立するとともに、その要因となる人口の動態も合わせて把握できるGISデータベースを構築することが提唱される。

謝 辞

本研究で用いた多量な画像データ、地理データの処理過程で、(株)パスコインターナショナル環境資源調査部GISグループの遠藤和志、小島由紀子両氏から惜しみない協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

(受付日1998.2.25, 受理日1998.9.14)

参考文献

- 1) 井上 真: 焼畑と熱帯林 カリマンタンの伝統的焼畑システムの変容, 弘文堂, pp.176, 1995
- 2) 久馬一剛: 焼き畑農業の生態学, サイエンス, Vol. 14, No. 4, pp.20~31, 1984
- 3) 佐々木高明: 東・南アジア農耕論, 弘文館, pp.517, 1989
- 4) 高瀬国雄: 地球環境と農林業開発の共生 一焼畑, 過放牧, 薪炭材, 土壌劣化への対策, 国際農林業協力, Vol. 17, No. 1, 1994
- 5) 田中 明 編: 熱帯農業概論, 築地書館, pp.529, 1996
- 6) FAO: Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia (ASSOD), Proceedings of the Expert Consultation of the Asian Network on Problem Soils, pp. 56, 1996
- 7) Ministry of Agriculture and Forestry, Lao P. D. R.: Forest Cover and Land Use in Lao P. D. R., Lao-Swedish Forestry Cooperation Programme -Forest Inventory Report No. 5, pp.69, 1992
- 8) P. B. L. Srivastava: Shifting Cultivation Problems and Alternatives, FAO, pp.1-77, 1986
- 9) UNDP: Shifting Cultivation and Rural Development in the LAO P. D. R., Report of the Nabong Technical Meeting, pp.274, 1994