

H-3 サヘル農家の脆弱性と土壌劣化の関係解明および政策支援の考察

(3) 村落レベル・地域レベルの土地利用、植生の時系列解析

独立行政法人国際農林水産業研究センター

国際開発領域

内田 諭

〈研究協力者〉 独立行政法人国際農林水産業研究センター

国際開発領域

平野 聡

平成15～17年度合計予算額 6, 988千円

(うち、平成17年度予算額 1, 773千円)

〔要旨〕西アフリカに位置するブルキナ・ファソ国では、限られた土壌および水資源を利用した天水農業が営まれている。農地として開墾された土地は、一般に土壌肥沃度が低いいため、適当な期間休閑することで、土地生産性を維持するのが一般的である。こうした耕作の頻度については、立地条件を考慮して適正なものにすることが必要とされるが、土地利用の広域かつ詳細な調査データは存在しない。ことに、2003年に隣国コートジボワールで勃発した戦乱（以降、「危機」）の影響で、出稼ぎ農民の帰還による大規模な人口変動が見られ、土地利用、特に耕作面積に大きな影響があったと考えられる。こうした実態を把握する手法の開発が待たれている。本研究は、衛星リモートセンシングデータを活用し、耕作地の判別とその空間分布および経年変動に関する客観データを提供すること目的とした。異なるピクセルサイズの衛星データを用いて、異なる時空間スケールでの村落周辺での耕作地の面積推移を推定・評価した。対象地域、対象期間に安定して広域の客観データを提供できたのはピクセルサイズ1kmのSPOT/VEGETATION（フランスの地球観測衛星搭載のセンサ）であった。年降水量によるブルキナ・ファソの農業生態区分（4つあり、北からスーダン・サバナ北部と南部、ギニア・サバナ北部と南部）ごとに、収穫期前後の植生指数の変動パターンに見られる特徴をもとに、村落周辺の耕作利用強度（Cropland Use Intensity）を推定し、階級区分を行った。階級区分の年々変動から、耕作面積に対する危機の影響は多様で、空間変動パターンの単純な類型化は難しいことがわかった。しかし、概して危機以降の変動が顕著に見られたのは降水量の比較的少ない北部のスーダン・サバナ区分と、やや湿潤なギニア・サバナ北部であることと、耕作利用強度の上昇に時差が見られることが判明した。さらに、危機から2年経った2004年にはこの傾向も概ね収束し、以前の耕作面積に戻る方向で推移したことが推察された。

〔キーワード〕衛星リモートセンシング、耕作面積、分類手法、経年変動、人口圧

1. はじめに

西アフリカのサハラ砂漠南部には、農耕が可能な半乾燥地帯が存在し、年間降水量が400mm程度のサヘル帯から700mm程度のスーダン・サバナ帯、さらに降水量の多いギニア・サバナ帯が広がっている。ブルキナ・ファソは内陸国であり、北部はサヘル帯、中部はスーダンサバナ帯、南部はギニア・サバナ帯に属しており、半乾燥の気象条件の下、天水農業地帯が全土に見られる（図1）。

ここでは、ミレット等が主食用として広く栽培されているが、それらは商品として流通するよりも自家消費に利用されることが多い。したがって、耕作面積は人口規模と関係しているものと考えられる。一方、土壌の肥沃度は一般的に低く、肥沃度維持のための適当な施策を講じなければ、土壌の劣化が進んでいくものと考えられる。そこで、肥料等を投入することに加え、適当な休閑期間を設けることが一般的に見られる。

ブルキナ・ファソの農村は、自給的色彩が強いこともあり、農村出身者は現金収入を求めて他の地域へ出稼ぎに出る者も多い。その中には、隣国のコートジボワールへ出稼ぎ農民も多く存在していたが、社会的混乱により2002年から2003年に大量の帰還者が出たと言われている。これらの帰還者は、出身農村等に居住したため、食糧の需要が増し、耕作面積も拡大したと考えられている。この耕作地の拡大現象は、それまで耕作と休閑の周期に関して一定の秩序が保たれていた場合に、少なからず影響を及ぼしたはずである。すなわち、本来は休閑すべき順番であった土地に、作物の播種・栽培が行われた可能性がある。元来、土壌の肥沃度が高くはなかった土地で、このような予定外の土地利用が行われたとすれば、土地の持続的利用の観点から見て、望ましいことではなかったことになる。

以上のような農作物の耕作地に着目した土地利用の変動を把握することは、こうした半乾燥天水農業地帯における土地資源の管理、土地利用計画に、重要なことである。しかしながら、各筆の形状、分布が複雑であり、系統的な土地利用の記録様式が定まっておらず、広域にわたる実態の記述に関する資料は見当たらない。耕地面積を行政単位毎に集約した数値であれば得られる可能性はあるが、こうした資料から毎年の耕作地の詳細な分布を求めることは困難である。

本研究では、衛星リモートセンシングデータを活用して、耕作地の時空間変動の解析を試みる。陸域の土地被覆・土地利用を観測することを目的とした地上での空間分解能（解像度）が数10m以下の資源探査衛星は、1972年に打ち上げられたLANDSATシリーズの最初の衛星以降、多数存在し、世界中の観測データが蓄積されてきている。ただし、ブルキナ・ファソを観測したデータとしては、地上受診局の位置や記録装置の制限の点で、1999年より前の時点では、フランスのSPOT衛星による観測を除くと少数が存在するのみであった。また、SPOT衛星に搭載された高空間分解能センサの観測にしても、1回の観測の走査幅がLANDSATに比べて狭く、観測周期も長くなることから、経年的に分析できるようなデータが得られている地域は限られていた。1999年より運用されているLANDSAT7号のETM+データは、地上局の位置に拘らず観測データを得ることができるようになり、ブルキナ・ファソを対象とした場合、観測頻度が高かった。そこで、このデータを用いることによる土地利用の経年的変動分析の可能性が高まった。ただし、広域にわたり、ある期間安定的に情報を提供する観点から見ると、空間分解能はそれほど高くなくとも、観測頻度がほぼ毎日と頻繁にデータ収集を行う衛星データの積極的活用も、検討の価値が高いと考えられた。

土地被覆あるいは土地利用の判別・分類、さらに、それらの時間的変化のモニタリングは、衛星リモートセンシングに期待されている応用分野の1つである。多波長のマルチスペクトルセンサデータを用いた分類は、一般的な手法として適用されてきている。しかし一方で、精度の高い判別・分類結果を得ることは、必ずしも容易ではない。その理由は、まず、分類項目が物理的に純粋に定義できる存在ではなく、同じ項目内の状態の偏差が大きいことがある。また、特定の項目を判別するために最適な時期のデータを得ることが、容易ではないことがある。さらに、データの空間分解能と対象とする項目の判別に適した空間スケールとが合致せず、複数項目が単位画素（ピ

クセル) 内に混在している場合の処理技術が未確立であることがある。その他にも、大気の影響を補正するなどの問題があり、通常は事例ごとに適した手法を開発することが求められる。

2. 研究目的

本研究は、サヘルからスーダン・サバナ、ギニア・サバナ帯に位置するブルキナ・ファソ国内の農業地域を対象とし、広域にわたる農業的土地利用の時空間変動を把握するために必要な客観データを、衛星リモートセンシングデータを用いて抽出するための手法を開発し、危機前後の土地利用変化の空間変動パターンの分析に使える基礎データを整備することを目的とした。この際、調査対象となった村落周辺の耕作面積の時空間変動の推定に重点を置いた。これにより、得られた情報が、他の研究グループによる調査対象となった村の性格付けや、村落レベルでの持続的な土地利用施策の提言に資すると考えた。

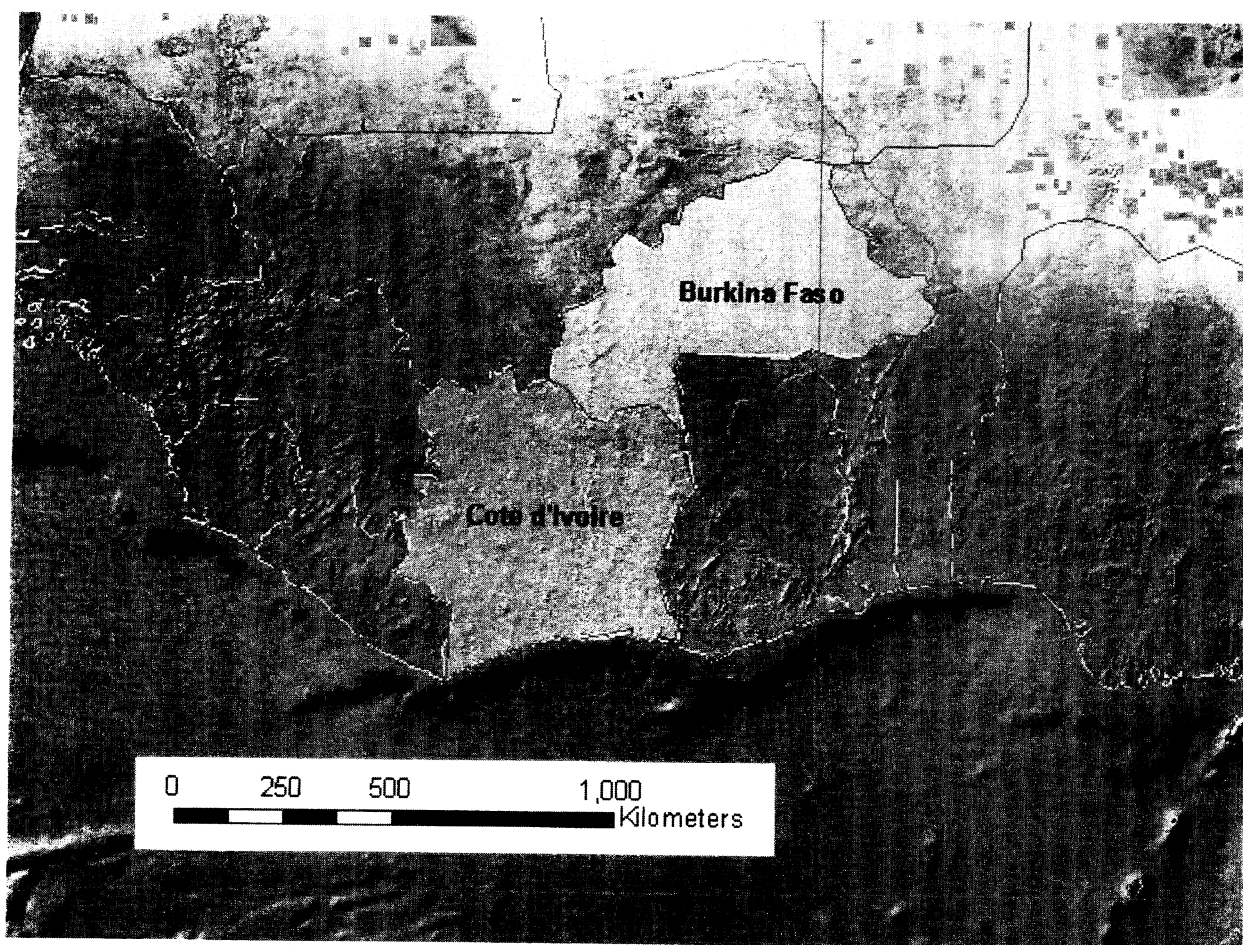


図1 ブルキナ・ファソとコートジボワールの位置

3. 研究方法

(1) 対象地域の概要

ブルキナ・ファソは、西アフリカの内陸国であり、南北約600km、東西約850kmの国土を有している。地形は、北西部において標高が高く、南東部において低くなっており、標高300m程度の丘陵性の地域が全土に広がっている(図2)。年間降水量は、北部に行くほど少なくなり、最も少ない地域では400mm以下であるが、南西部には年間降水量が1200mmを越える地域も存在する(図3)。雨季は概して6月から9月であるが、北部に行くほど雨季の期間が短い傾向があり、農作物の耕作時期も限られる。天水農業地域では、土壌水分が十分になる時点で播種を行い、雨季后の10月頃に収穫期を迎える。乾季の後半にあたる2月下旬から6月上旬にかけては、最高気温が40度を超える酷暑期であり、砂嵐の発生も見られる。

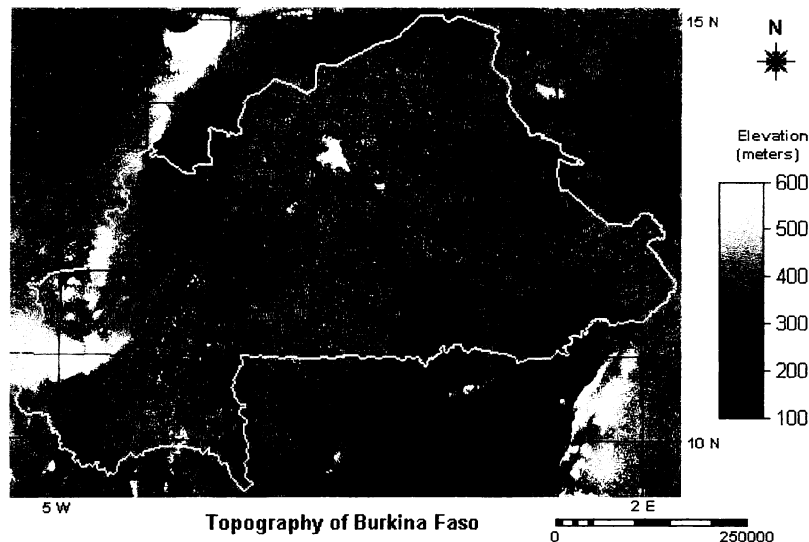


図2 ブルキナ・ファソの地形

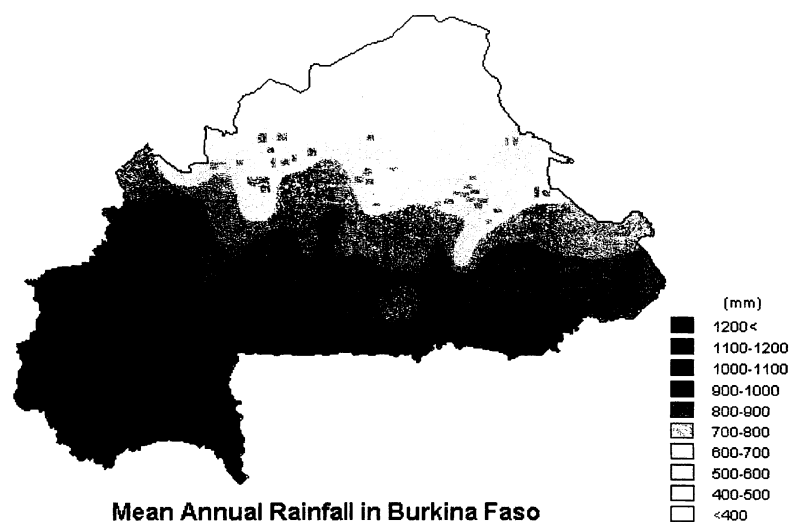


図3 ブルキナ・ファソの年間降水量の分布

(2) SPOT/VEGETATIONデータを用いた植生の季節変動概要の把握

SPOT/VEGETATIONは、フランスの地球観測衛星SPOT4号以降に搭載された可視・近赤外センサであり、衛星直下の地上分解能はおおよそ1km、走査幅2200kmで観測を行っている。本研究では、1km×1kmに規格化された10日間最大値合成正規化植生指数（NDVI）に関し、1998年4月から2004年12月の期間の観測分をベルギーに所在するデータセット作成サイト (<http://free.vgt.vito.be/>) よりダウンロードし、解析に使用した。取得したのは、アフリカ大陸全域をカバーするブロックであり、ここからブルキナ・ファソ及び周辺域を切り出した。NDVI画像は、簡単には、あるピクセルでの植生の活性度を表すとされ、植生を対象としたリモートセンシング解析には広く用いられている。入手したデータには位置情報（緯度、経度）が含まれており、他の情報（現地調査、地形図、中分解能衛星であるLANDSAT/ETM+データ、航空写真）から判断される典型的な土地利用に対応する地点において時系列変化の解析を行った。

(3) 中分解能および高分解能衛星による耕作地の判別

LANDSAT/ETM+は、アメリカの地球観測衛星LANDSAT7号に搭載されたセンサであり、ブルキナ・ファソを含む範囲の観測データについては1999年以降の蓄積がある。このセンサは地上での空間分解能が約30mの分光（マルチスペクトル）データと、約15mの白黒（パンクロマチック）データを提供し、SPOT/VEGETATIONなどと比べると詳細な地上情報を提供できる。2000年前後から商用ベースでピクセルサイズが1mやそれ以下のものが入手可能となったことから、現在では中分解能衛星と位置づけられている。異なる分解能のセンサから得られるデータの補完的活用を検討するため、試験的にスーダン・サバナ南部（年降水量約700mm）に位置するコルビラ村（以後、Kolbila村）を対象に抽出可能な情報を吟味した。図4に、本研究で収集したシーンの範囲と解析対象となったKolbila村の位置を示す。同村を含むLANDSAT/ETM+データのシーンはPathが195～196、Rowが50～51である。図に示されているように、Kolbila村は2つのPathの観測範囲が重なる領域（サイドラップ）にあるため、通常の2倍の頻度でデータを得られる優位性があった。収集したデータは表1に示した通りであり、雲の被覆による影響の少ない観測条件の良いデータが毎年10月頃に得られていたことが判明した。その他の時期に関しては、雨季の前半、及び、雨季后に観測されたデータが存在するが、酷暑期のデータは砂嵐等の影響を受けるためか極めて少ないことがわかった。

表1 解析のため収集したLANDSAT/ETM+データ一覧

Path	Row	Date
195	50	1999. 10. 29, 2000. 08. 12, 2001. 10. 02, 2002. 10. 21
195	51	1999. 10. 13, 2000. 02. 18, 2000. 05. 08, 2000. 08. 12, 2000. 10. 15, 2001. 07. 14, 2001. 11. 03, 2002. 01. 22, 2002. 09. 03, 2002. 10. 21, 2003. 01. 09
196	51	1999. 10. 20, 2000. 07. 02, 2001. 10. 09, 2002. 10. 28

LANDSAT/ETM+データは、入手時点では衛星の軌道・姿勢によるシステムの補正は行われているが、画素単位の時系列解析が行えるように、画像対画像の位置合わせを精密（標準偏差で約0.2画素未満）に行った。Kolbila村に関しては、筆者が過去現地を訪れたことがあり、また、航空写真及び20万分の1地形図を既に入手しているため、現地の土地利用の概況は把握されている（図5）。そこで、代表的な土地利用項目を選定し、観測時期とNDVI値との関係を調べた。さらに、特定の

時期におけるNDVI値の経年変動を調べ、土地利用の状況との関係を考察した。判別の妥当性は、より高分解能であるアメリカの民間会社Digital Globe社の地球観測衛星QuickBirdから得られる（マルチスペクトルで2.4m、パンクロマチックで60cmのピクセルサイズ）情報と照合することで評価した。

これにより得られた知見をもとに、その他の村落周辺で耕作域が占める面積率を算出する手法を開発し、収集したLANDSAT/ETM+データに適用を試みた。

（４） 低分解能、高頻度観測衛星データによる耕作利用強度の推定

LANDSATほどの詳細な耕地分布の把握は期待できないものの、光学センサを使う解析で問題となる雲の影響や、適当な観測時期でのデータの入手可能性を考慮し、SPOT/VEGETATIONのデータを利用して、村落周辺の耕作地の面積率を表す耕作利用強度（Cropland Use Intensity）を推定する手法を開発した。これは、収穫期前後に耕地の占める割合の高いピクセルの植生指数の値が特徴的な変動パターンを呈することに着目したもので、LANDSATデータを利用した方法では解析対象から外さざるを得なかった時期や地域でも、耕作地の分布に関する情報が得られる可能性がある。

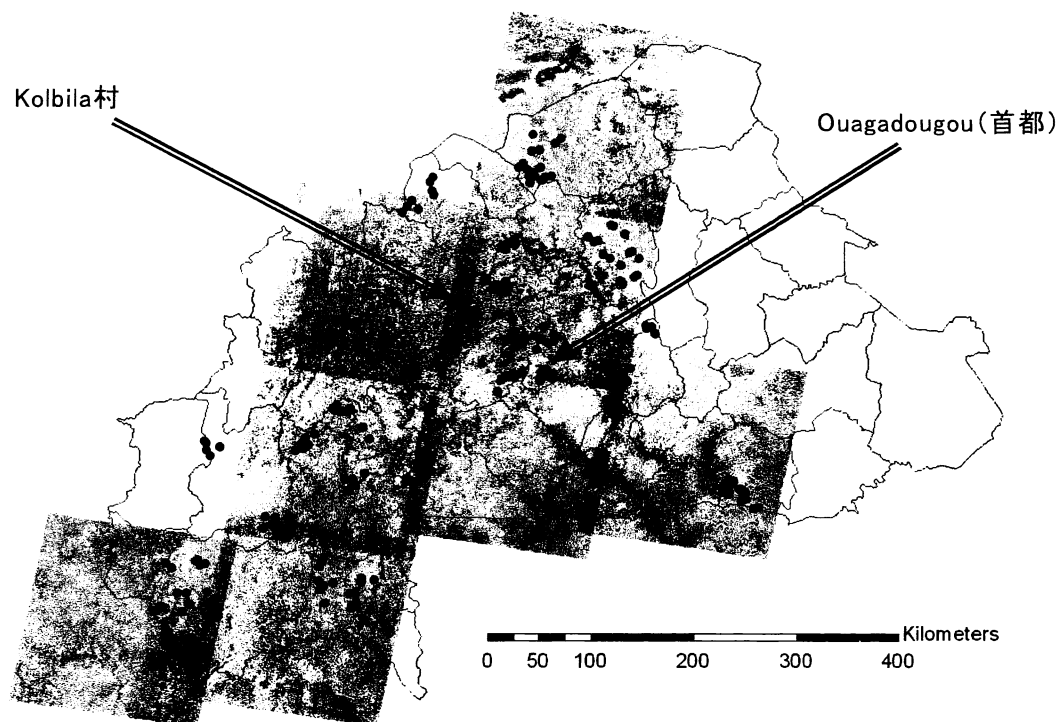


図4 解析のために収集したLANDSAT/ETM+データのカバー領域とKolbila村の位置。印は本課題の対象村落の分布を示す。

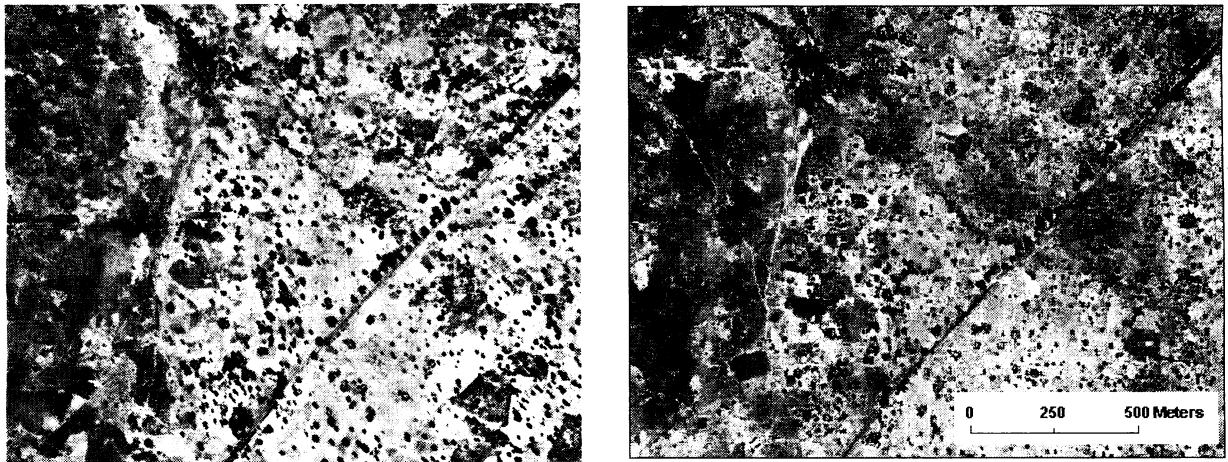


図5 Kolbila村の航空写真(1988年12月撮影)と高分解能衛星画像(2004年11月撮影)

4. 結果・考察

(1) SPOT/VEGETATIONデータを用いた植生の季節変動概要の把握

SPOT/VEGETATIONデータは、空間分解能が粗いため、Kolbila村周辺において1画素内の全域が耕作地となる場合は期待できない。そこで、耕作地の比率が比較的高いと考えられる地点からサンプル域を抽出した。また、Kolbila村中心から南南西方に約12kmの位置にある保護林域は、地表被覆状態が比較的均質であるため、ここから他のサンプル域を抽出した(図6)。図7にKolbila村における10日間最大値合成NDVI値の時系列変化、図8に保護林域における変化を示した。

これらの図から、以下のことが読み取れる。第1に、両者ともに9月頃に極大を持つ年1山型の変化を示すことであり、これは雨季に様々な土地利用による植生が同時的に繁茂し、乾季には活動が衰退することに対応している。第2に、Kolbila村における極大前の上昇率と極大後の降下率は、保護林域に比べて大きく、より急激な変化が認められることであるが、これは農作物が耕作される農地において、播種期及び収穫期に人為的な裸地化が進むことと対応するものと考えられる。第3に、NDVI値が上昇傾向となる時期を年ごとに比較すると、2000年、2001年が相対的に早く、1999年が遅く、それらの差は1ヶ月程度に及ぶが、これは雨季初期の降雨パターンと関係するものと考えられることである。以上のことから、適当な時期のデータが得られた場合、作物生育期間中の適当な2時期のNDVI値の変化から、耕作地を判別することが可能と考えられた。

以下の節では、上に挙げた特徴を活かして耕作地の判別と分布パターン、および耕作利用強度(Cropland Use Intensity: CUI)の推定を、それぞれ中分解能衛星データと低分解能衛星データを用いて行った結果を示す。

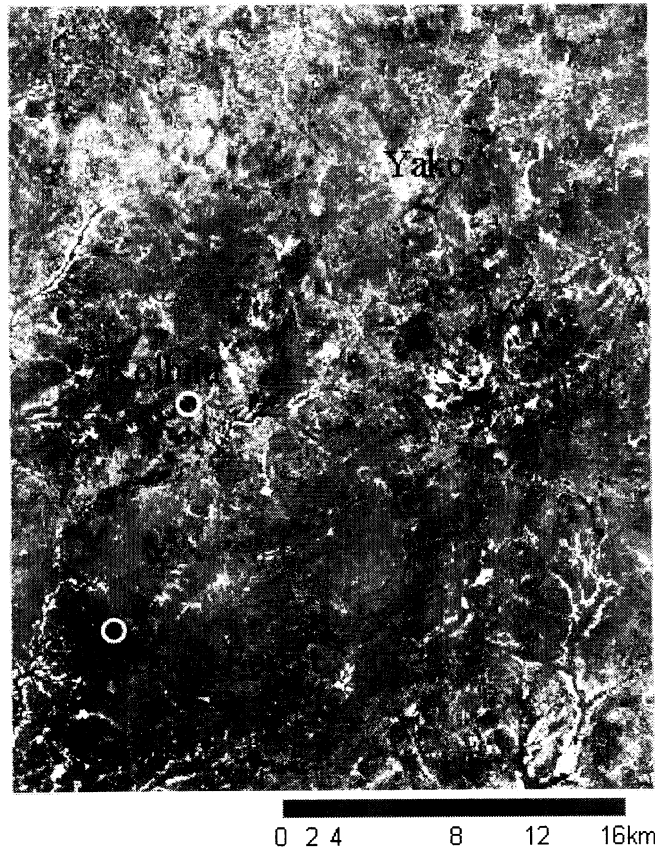


図6 SPOT/VEGETATIONデータによるNDVI値の変動をサンプルした
Kolbila村と保護林域の位置

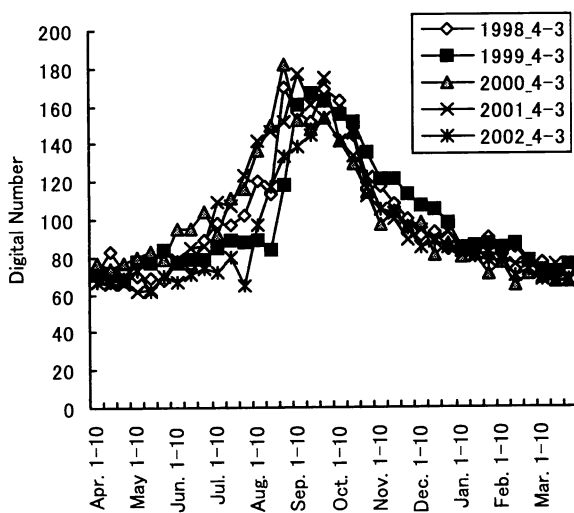


図7 Kolbila村におけるSPOT/VEGETATIONに
よるNDVI値の季節変化

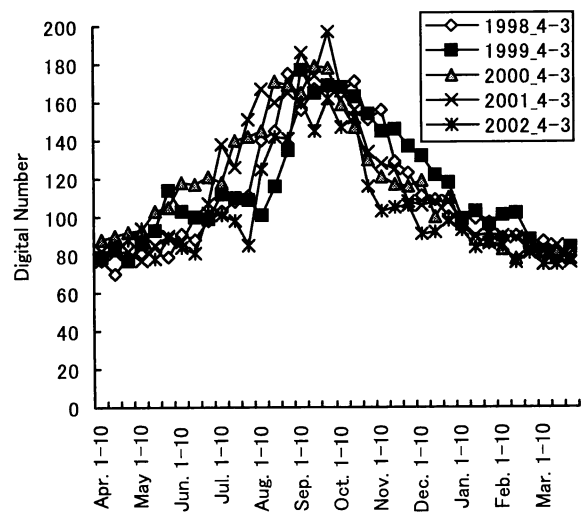


図8 保護林域におけるSPOT/VEGETATION
によるNDVI値の季節変化

(2) 中分解能および高分解能衛星による耕作地の判別

ピクセルサイズの大きな（空間分解能の低い）SPOT/VEGETATIONデータの観察により，耕作年内での植生指数（NDVI値）のおおよそその変動が判明したので，中分解能（30m前後）のLANDSAT/ETM+画像を用いて，より詳細な土地利用ごとのNDVI値の時系列変動を追い，耕作地の判別につながるかを検討した。

最初に，Kolbila村および周辺における土地利用として，裸地（乾季において植生がほとんど見られない地域），ブッシュ（乾季において草本が存在する休閑地等を含む地域），耕作地，浸食地（土壌浸食により表土が流出した地域），ユーカリ林，森林（多年生の木本がある程度の密度で存在する地域）の6項目を抽出し，それらの対応する地点をLANDSAT/ETM+画像より目視判読を行った。次いで，各地点におけるNDVI値を求め，4月1日を起点とする日数との関係として表したものが図8である。耕作地と森林を比較すると，10月頃では同程度の値を示すものの，播種期である雨季前半では耕作地における値が森林に比べて明瞭に低く，また，収穫後においても耕作地における値が相対的に低くなっている様子が観察された。耕作地とブッシュとの比較では，10月頃には耕作地における値が高く，播種期と収穫後はブッシュにおける値が高くなる様子が示された。さらに，裸地において特徴的であるのは，雨季には一時的に植生に覆われることがあることであり，これは，浸食域には見られない点であった。以上の結果は，SPOT/VEGETATIONによるNDVI値の季節変化から推察されたように，耕作地の判別のために2時点のNDVI値を利用することが有効であるという点を確認するものであった。

いずれかの年に耕作された地域の抽出がなされた場合，そこでの10月期のNDVI値の経年変動を調べることで，耕作・休閑のパターンを分析することが可能と考えられた。図9は，2002年のデータから耕作地と判断された1地点におけるNDVI値を年度毎に識別して示したものである。4月1日からの日数が200日前後に当たる10月期の値を見ると，2000年以外は0.6程度あるのに対し，2000年は明らかに低い値となっていた。これは，この地点において2000年は休閑，他の年は耕作されていたと判断できる。同様に，Kolbila村の中での作付けパターンの分布状況を示すことが可能であった。

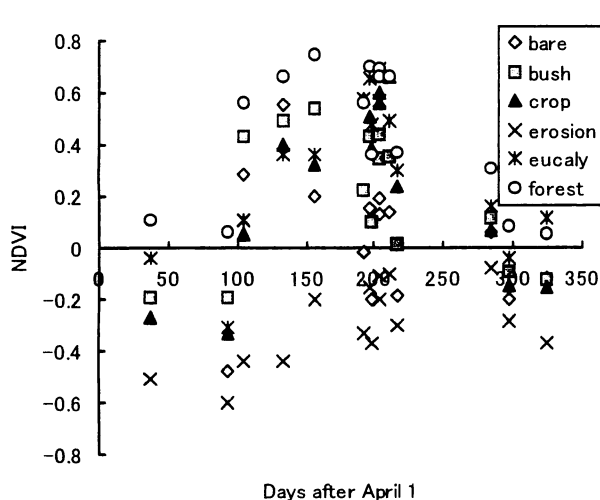


図8 土地利用項目毎のNDVI値季節変化特性

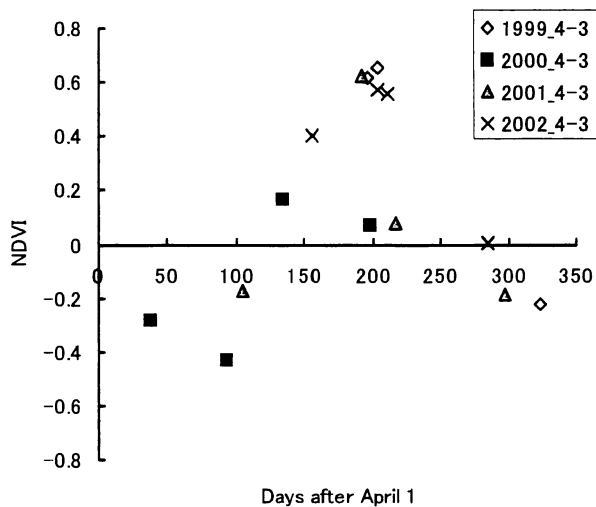


図9 2000年非耕作農地におけるNDVI値の変化

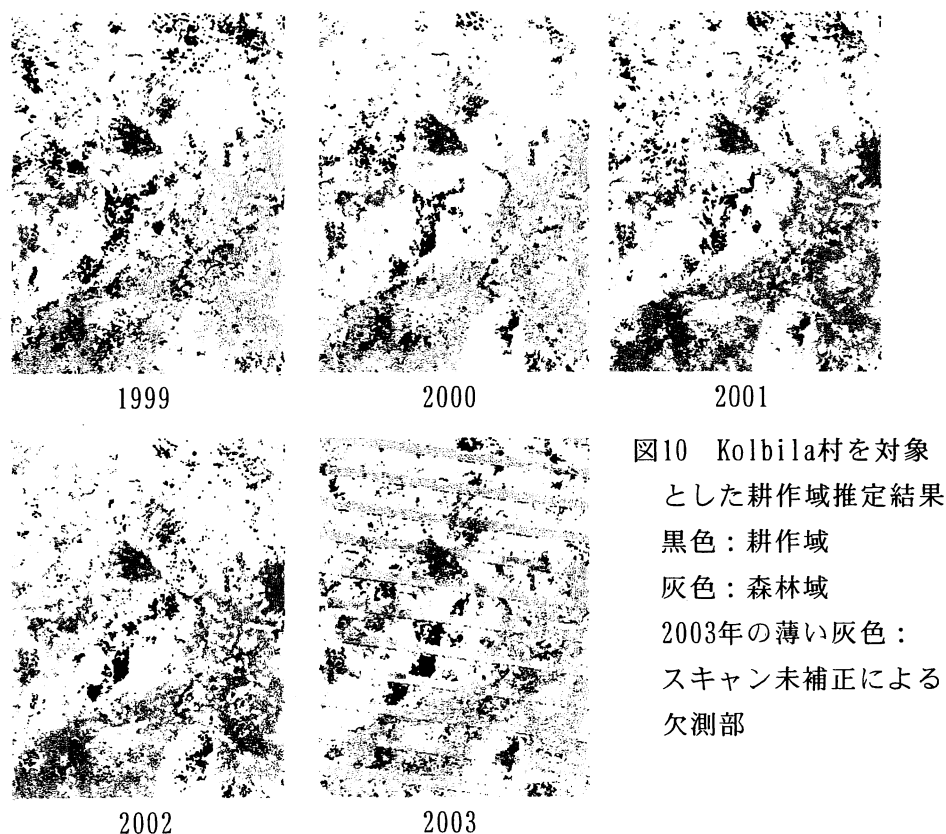


図10にKolbila村を対象とした、1999年から2003年にかけての耕作域分布の推定結果を示した。2003年のデータは、LANDSAT観測時のスキャンングによるずれを機械的に補正する機能が故障していたため、縞状の欠測部が生じている。図から、中心やや西寄りの区域に耕作地が固まって分布している様子が伺えた。

図の北部では、1999年に耕作地と推定された部分が他の年度に比べて広く見られるが、ここはブッシュ状の土地被覆であり、誤判別されたものが含まれていた。誤判別が生じた理由としては、表1に示されたように、1999年の7月～8月の降水量が多かったことがブッシュの植生を活発化させ、そこでのNDVI値が耕作域におけるものと同程度まで高くなっていたことが考えられた。

表1 推定耕作地面積率とOuagadougouにおける雨季月間降水量 (mm)

	耕作面積率 (%)	6月	7月	8月	9月	10月
1999	8.80	75	241	236	169	9
2000	4.85	139	153	118	24	66
2001	5.15	26	184	N/A	115	15
2002	4.11	38	170	179	183	39
2003	N/A	164	180	166	162	55

Kolbila村での事例研究で得られた知見を、ブルキナ・ファソ全土に拡大して調査村落周辺の耕作域の変動を解析した。NDVI値計算にはLANDSAT/ETM+データを利用した。収集したシーンは国土の約7割をカバーするパス194～197，ロー50～53の全49シーン（1999～2003年）であったが，雲の影響と2003年5月以降のLANDSATの技術的トラブルもあり，図11の4シーンで2000から2002年に取得されたデータを用いて解析を行った。

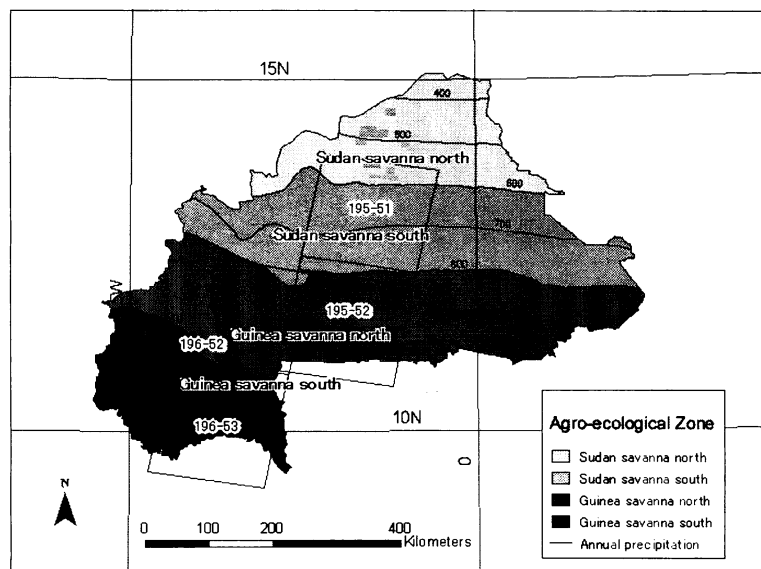


図11 農業生態区分と解析LANDSATシーンの範囲

NDVI計算には元データから反射率を求め，簡易大気補正を行ったものを用いた。画素単位の空間解析を行うため，各シーンの位置あわせは標準偏差約0.5ピクセルまで行った。開発手法を広域に適用する際の障害は点在する雲とその陰の影響，森林域のマスキングと耕作域の判別に必要な閾値の決定基準であった。雲域を空間比較対象からマスクするためにNDVI値の異常値に加え，熱バンドで明らかに低い値を呈するピクセルにヒストグラムの形状を参考にマスク処理を施した。

この処理でところどころに情報欠損域が現れたため，村落（対象地域内の179村）周辺に解析を限定した。GPSで計測した村の位置の周囲2kmのバッファ内に占める耕作域の占有面積率を耕作域指標として扱った。2kmという距離は，農家家計グループによる詳細な重点村落調査から得られた知見と近隣村落間の平均距離をもとに設定した。

収穫期での耕作域特定の閾値決定は試行錯誤を繰り返したが，画一的な基準を設けることはできなかった。米国地質調査所（USGS）が主体となるアフリカの飢饉早期警戒システム（FEWS NET: ADDS）の一環で提供しているNDVIデータをもとに各農業生態区分ごとの経年NDVI値の推移を分析したところ，区分ごと年ごとの変動が大きくこれをモデルすることは困難と判断し，シーンごとのNDVI値ヒストグラムの形状から閾値を決定する方法が最も現実的と考えた。

図12に村落周辺のバッファに占める土地利用の構成分布の例を示す。2000～2002年で耕作域の各村落周辺バッファ内での占有面積率の集計を行ったところ，当該の3年間にについては村落による差があるものの（占有面積率は約15～70％），平均すると±25％程度で推移していたことが判明した。一部の異常値は集計から除外した。推定の有効村落数は39（全調査村の20％）であった。

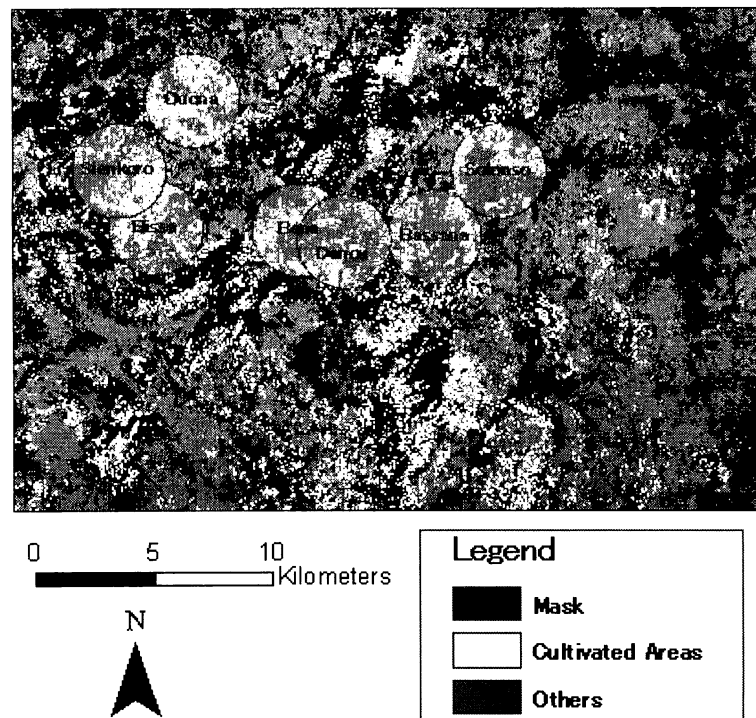


図12 バッファ内の土地利用構成例

広域に開発手法を展開した際の局地的分類精度の評価として、Kolbila村周辺の高分解能衛星 QuickBirdから得られた画像を詳細分類した結果と、LANDSAT/ETM+による分類結果の整合性を照合した。この際、耕作地からの分離対象となった分類項目である森林域の同定精度をもって評価した。図13にその結果を示す。

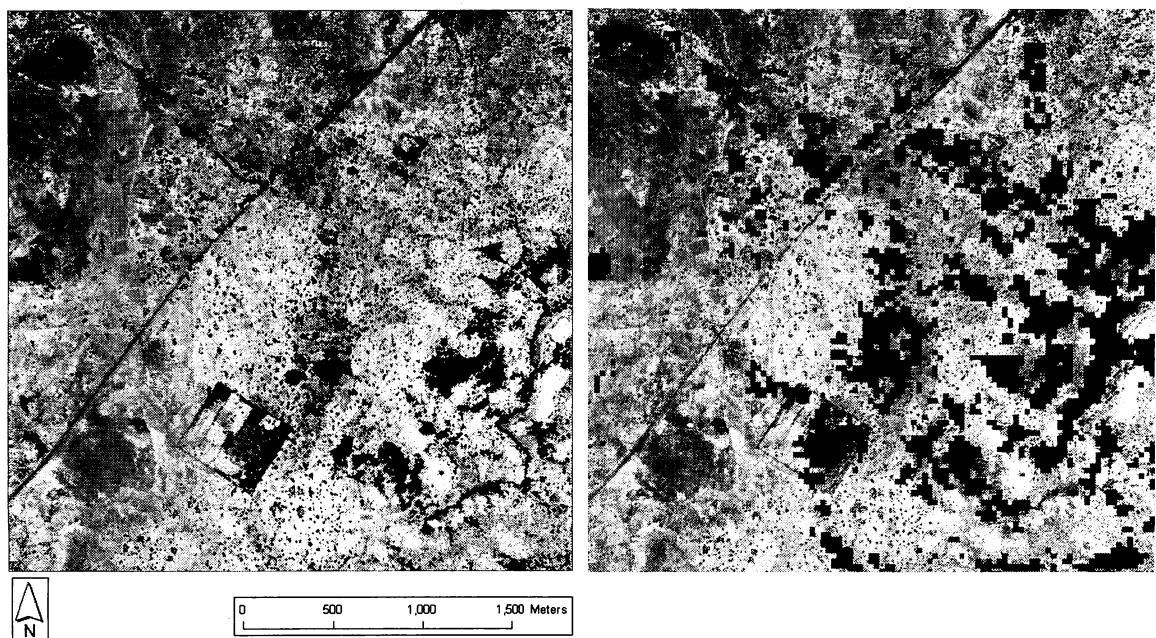


図13 QuickBirdによる森林域（左）とLANDSAT/ETM+による森林域（右）の抽出

図に見られるように、LANDSAT/ETM+による分類では森林域がやや過大に判別されているが、ピクセルサイズの違いに依存する空間スケールの違いを考慮に入れると、妥当な精度で抽出が行えていると判断できる。耕作域と誤分類を起こす要素である森林域を妥当に抽出できたため、耕作域の信頼できる精度を有すると考えられた。

しかし、この中分解能衛星データを活用した耕作域変動把握には問題も残った。この解析では、LANDSAT/ETM+のセンサ故障のため、土地利用変動があった可能性のある2003年を扱うことができなかった。また、耕作域を特定する閾値の決定に関してはヒストグラムの形状に頼ることとなり、客観性に問題が残った。比較的データ取得の条件がよいと見られた10月期であっても、微妙に取得時期が遅れて収穫に間に合わず裸地化が起こってしまい耕作域の特定に失敗したシーン（主に2003年のデータ）もあった。以上のように、出稼ぎ農民の帰還前の基礎データを土地利用の履歴として整備できたことには意義があるが、開発手法の広域への適用には課題が残された。

（3） 低分解能、高頻度観測衛星データによる耕作利用強度の推定

中分解能のLANDSAT/ETM+の解析では、詳細な耕作地の分布が推定でき、これを時系列で重ね合わせることで休閑の期間や分布の把握も行える可能性が高いことが示されたが、雲の影響や解析に必要な時期の画像が得られない場合に情報が欠落してしまうケースがあった。この欠点を補完し、さらに本研究の目的である危機による影響が現れたと考えられる2003年以降の耕作地の変動を把握する必要がある。このため、空間分解能は高くないが観測頻度の高さと雲の影響を最小限に押さえられ、2003年以降も安定的にデータを提供しているSPOT/VEGETATIONから得られるデータの活用を再検討した。

植生の季節変動の概要を把握した際に、耕作地を多く含むピクセルは収穫期の前後に急激なNDVI値の上昇と降下に伴うピークが見られることがわかっていたので、このピークの形状を統計的に処理して、ピクセル内の耕作地の占める割合、すなわち耕作利用強度（CUI）に読み替えることとした。図14に概念図を示す。

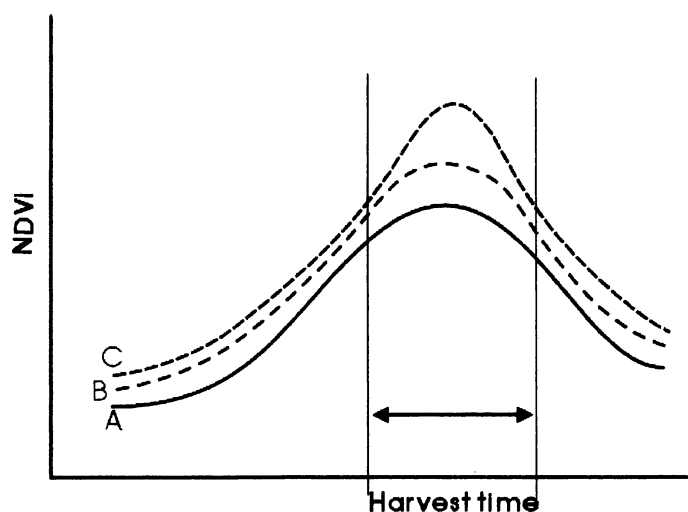


図14 収穫期前後のピークの形状によるピクセル耕作利用強度（CUI）の推定

図で収穫期前後のピークが急になるほど、そのピクセルに占める耕作地の占める割合が高いと仮定する。ピクセルベースでは、AよりもBが、BよりもCがCUIが高いことになる。CUIの推定には収穫前後の一定期間でのNDVIを抽出し、尖度を求める統計処理を施して求めた。尖度は相対的な値になるので、CUIも階級クラスとして扱い、10の区分を設定した。NDVI値がある一定の水準に達さない場合は耕作地がほとんど存在しないとして除外し、ピークの尖度が高すぎる場合はNDVI値のノイズに起因する異常値として扱い、これらもCUIクラスの割り当てから除外した。

危機の影響が現れたと考えられる2003年からの2年間と、それ以前の3年間を含む2000～2004年の5年間を対象にこの解析手法を適用した。農業生態区分ごとに収穫期のずれが生じるので、計算に利用した対象期間の違いを図15に示した。結果として、全調査対象209村落のうち71%に相当する149村落に関して、CUIの年々変動が階級クラスとして算出できた。情報の得られた村落の位置を図16に、また各村落の対象期間でのCUI階級クラスの推移を付表1に示した。

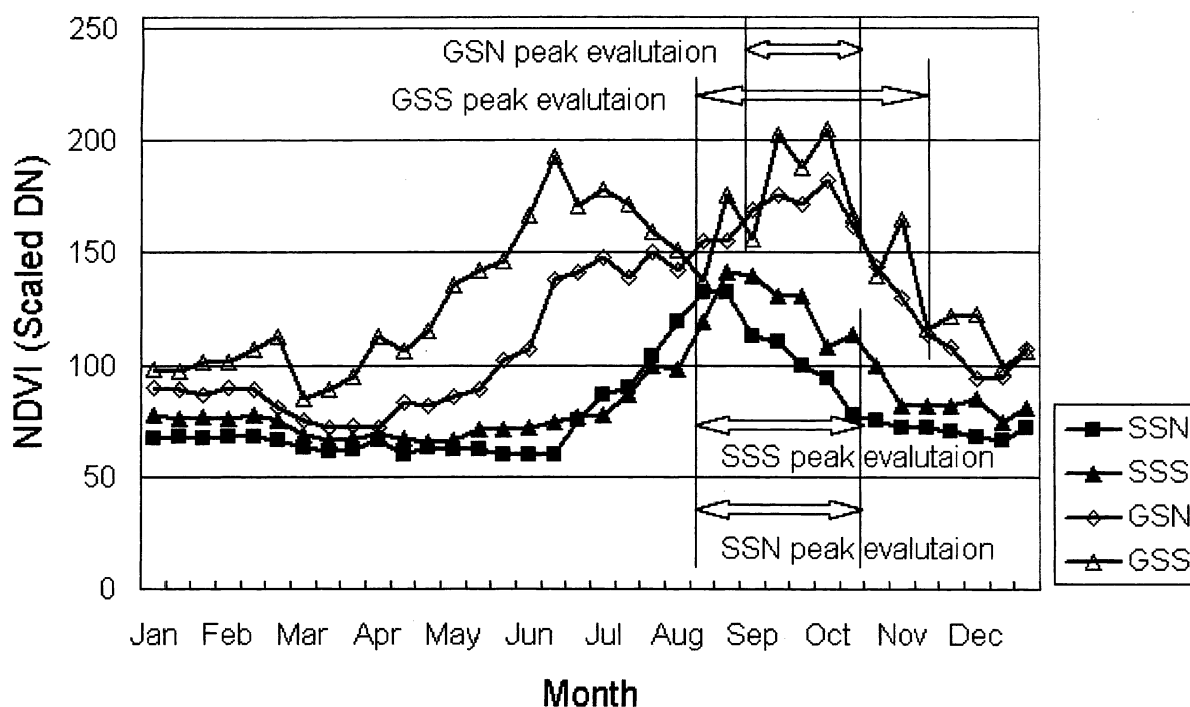


図15 各農業生態区分（SSN:スーダン・サバナ北部、SSS:スーダン・サバナ南部、GSN:ギニア・サバナ北部、GSS:ギニア・サバナ南部）での計算対象期間

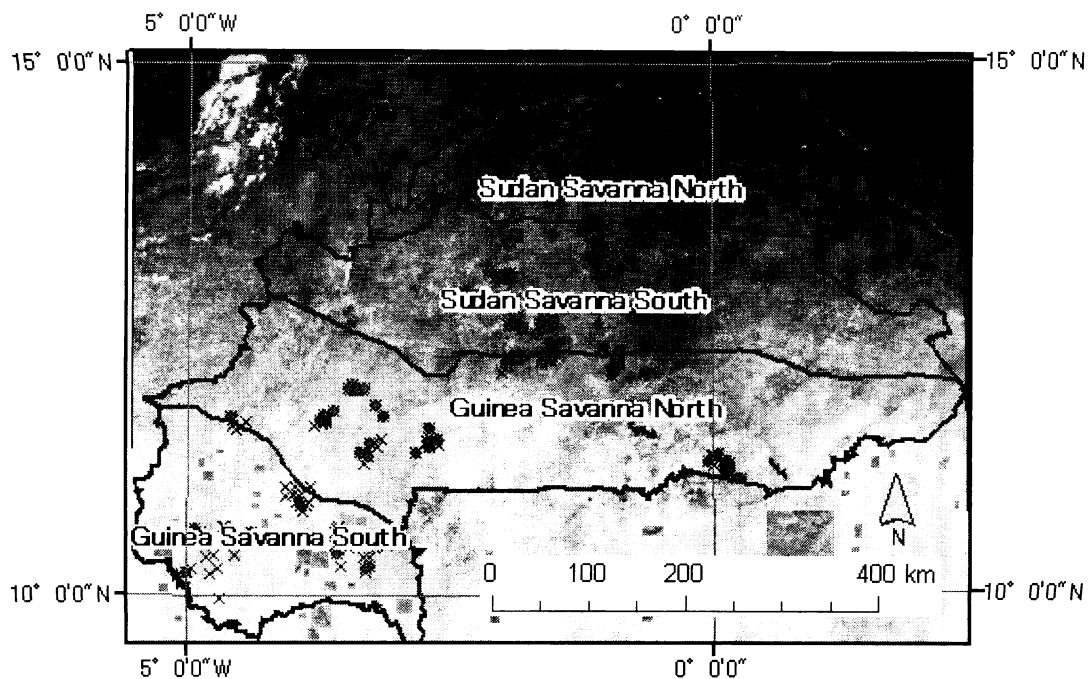


図16 2000-2004年の耕作利用強度（CUI）クラスを算出した149村落の分布。×印で示した村落は異常値が検出されたため除外した。

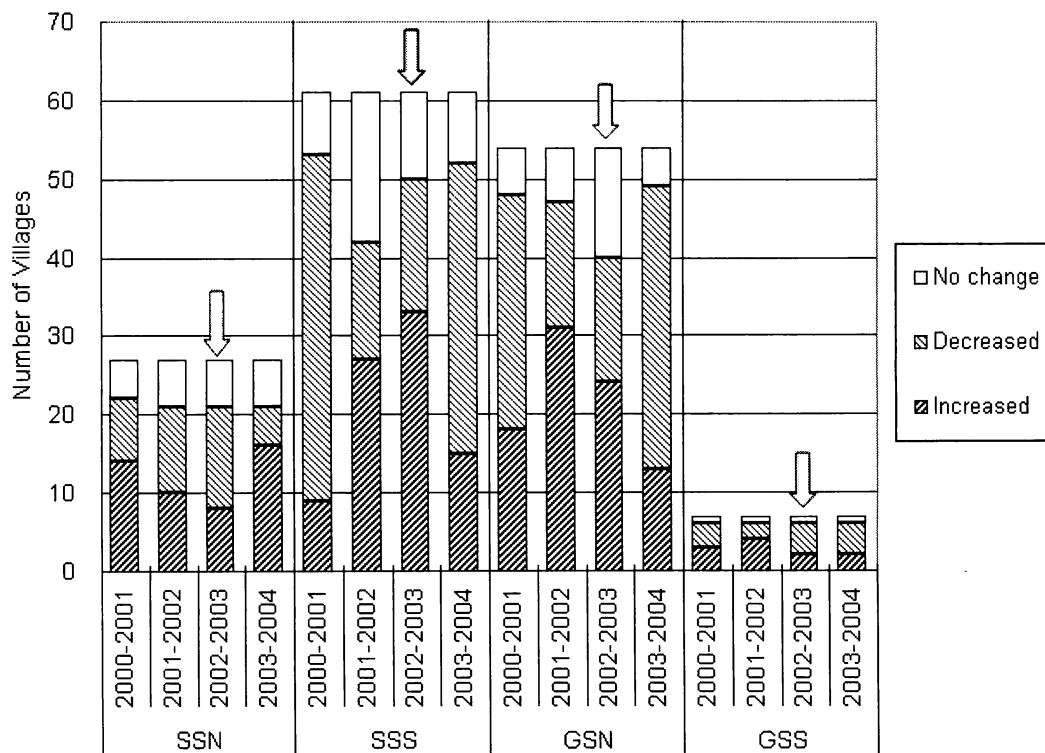


図17 各農業生態区分ごとのCUI増減村落数の推移（矢印は危機1年後の2003年）

図17に2000～2004年の各年にCUIが上昇、下降、変化なしの傾向にあった村落数をグラフにまとめて示した。さらに図18に個々の村落の階級クラスの推移を農業生態区分ごとに示して、傾向の解釈に利用した。

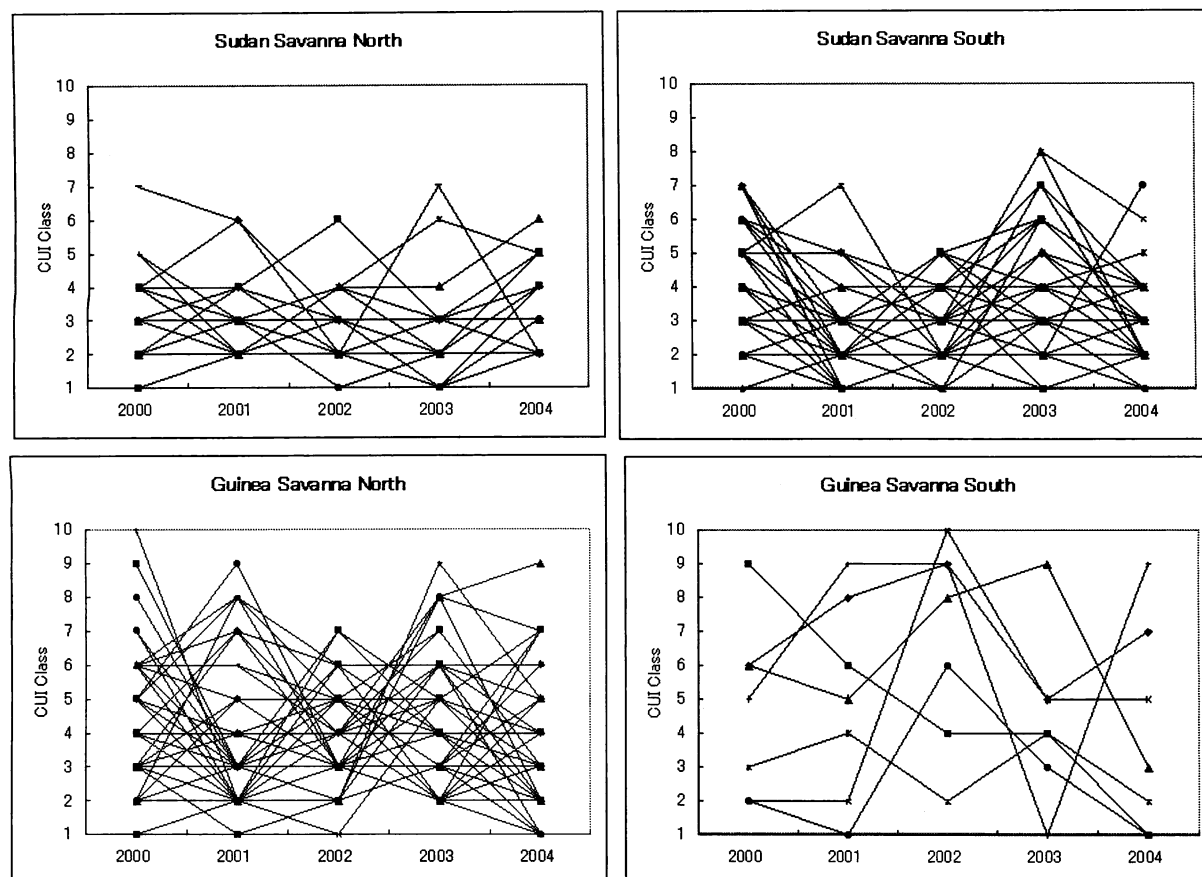


図18 農業生態区分ごとの個別村落CUIの推移（2000～2004年）

LANDSAT/ETM+を利用した手法で本章第1節で得られた詳細耕作域変動と比較検討を行った結果、SPOT/VEGETATIONから得られたCUIは概ね妥当な推定となっていることがわかった。これらの結果から、以下のことが判明した。すなわち、1) LANDSAT/ETM+やQuickBirdといった中分解能から高分解能衛星から得られるデータは、詳細な耕作地分布情報を提供できる一方、雲の影響や観測時期の制約のために安定・継続的な村落レベルの耕作域変動の把握には難があること、2) 低分解能ではあっても、観測頻度が高いSPOT/VEGETATIONから得られるNDVI値をもとに、収穫前後のピクセルごとの変動パターンの特徴を抽出することで、安定的に広域の耕作地変動を把握することが可能であることである。

（４）危機による農業的土地利用変化の考察

2002年にコートジボワールで勃発した危機の影響で、多数の帰還農民がブルキナ・ファソ全土の村落に居住したことで人口圧が高まり、耕地面積が増加したことが推測された。しかし、図17、図18、および付表1を見てもわかるように、耕地面積の変動は村落ごとに大きくばらついた。このばらつきのため、空間解析を行っても明瞭な空間パターンを導くことはできなかった。つまり、人口圧の増大が単純に一律な耕作面積の拡大につながらないことが示唆された。

敢えて弱いながらも傾向を抜き出すと、危機の影響が何らかの形で現れているように見えるのはスーダン・サバナ北部と南部、そしてギニア・サバナ北部の乾燥の度合いの高い3区分であった。その傾向とは、1) 最も乾燥したスーダン・サバナ北部で2003年に耕地面積が減少したが、翌年は増加傾向に転じたこと、2) スーダン・サバナ南部では危機1年後の2003年には明瞭に耕地面積が増加したが、翌年2004年には急激に減少に転じ、通常の耕作利用強度に戻ったこと、3) やや湿潤なギニア・サバナ北部では2003年では横ばい状態が続き、2004年には減少傾向を呈したこと、そして、4) 最も湿潤なギニア・サバナ南部では村落ごとの変動がまちまちで増減傾向のパターンは見いだせなかったことである。特に、スーダン・サバナの北部と南部に注目すると、危機の影響が現れるのに時差（年次差）が見られたとも解釈できた。

耕作パターンの変動が土壌肥沃度に対して与える影響に関しては、危機以降の時系列データの蓄積が足りないため、より長期にわたるモニタリングを行わない限り、良し悪しを結論付けるには至らないと考えられた。耕地面積が減少している村落も多く見られると推察できるからである。

他の研究グループから得られた知見によるが、危機の影響によって引き起こされた耕地面積の増減パターンは村落ごとの社会・経済条件などに強く左右されており、「場所」による決定要因はさほど強くなかったと考えられる。さらに、危機から1年経った2003年には各地で土地利用に変化が見られたものの、翌年2004年までには概して土地利用変化が収束傾向に向かったことが観測された。つまり、耕作利用強度の変化が一過性であったことを示唆していると推察された。

5. 本研究により得られた成果

半乾燥地域に位置し、個々の圃場の形状が小規模かつ複雑で、耕作される位置が年々変動する天水農業地域を対象として、衛星リモートセンシングを用いた耕作地の判別手法を開発した。開発手法は大きく2つで、LANDSAT/ETM+（ピクセルサイズ30m）に代表される中分解能衛星データによる2時期の画像を用いた方法と、SPOT/VEGETATION（ピクセルサイズ1km）に代表される低分解能ではあるが、高頻度の観測を行う衛星からのデータを用いた方法である。両者は互いに補完する形で、得られる情報の詳細さのレベルは異なる。本研究の場合、対象としたブルキナ・ファソのある特定の時期に予想された農業的土地利用の時空間変動を把握するための客観データ整備を目的としたため、2番目の開発手法の利用が効果的であった。解析の結果、隣国コートジボワールで1992年に勃発した危機による急激な人口圧の高まりが土地利用に与えた影響は、調査対象村落ごとにまちまちで明瞭な空間パターンは見いだせないというものであった。衛星データを利用して把握される変動から見る限り、危機から2年経った2004年には各地で土地利用変化は収束に向かい、従来の耕作パターンに戻っていったことが推測された。

本研究で開発された耕作地の分布や耕作利用強度の推定手法は、世界中に広く分布する土地利

用の詳細な分布データが未整備な地域に応用することで、基礎的な土地利用情報の整備に資することが期待できる。

6. 引用文献

なし

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

- ① 内田諭：システム農学，20，2，45-46（2004）
「衛星データを用いたブルキナ・ファソ農村における土地利用変動の解析」
- ② 平野聡，内田諭：システム農学，21，2，80-81（2005）
「時系列NDVI値にもとづくブルキナ・ファソ農村周辺の耕作域変動の解析」
- ③ 平野聡，内田諭：システム農学，22，2，35-36（2006）
「サブサハラにおける農業的土地利用分類への植生指数の応用」

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

なし

〈その他誌上発表（査読なし）〉

- ① 内田諭：日本写真測量学会年次学術講演会発表論文集，R-2，283-286（2004）
「西アフリカ半乾燥地域における農地変動モニタリング手法の検討」
- ② 内田諭：平成15年度国際農林水産業試験研究成績概要集，350-351（2004）
「村落レベルの土地利用，植生の時系列解析」
- ③ 内田諭：平成16年度国際農林水産業試験研究成績概要集，290-291（2005）
「村落レベルの土地利用，植生の時系列解析」
- ④ 平野聡：平成17年度国際農林水産業試験研究成績概要集，284-285（2006）
「地理情報システムを用いた広域の農業的土地利用情報抽出と整理手法の開発」

(2) 口頭発表（学会）

- ① 平野聡：第43回日本アフリカ学会学術大会，（要旨提出済）（2006）

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム，セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

対象地域にある農村においては、天水に依存する畑作が行われ、気象条件や地力の維持を考慮した作付域の移動が見られる。本研究の成果は、作付域の変動が、どの地点(村)で、どの程度の規模であったかを描写するものであり、広域の対象地域内の相対的な挙動の特性等の理解に資するものである。また、こうした情報を属地データとして整備し、経年変動の実態を把握することにより、土地生産性や人口扶養力等を評価できるものと考えられる。さらに、土地利用計画策定時には基本情報としても位置づけられるため、活用が期待される。今後は、外務省や環境省を通じて、砂漠化対処条約に対するわが国の対応策に貢献できるよう努めたい。

付表1 調査対象村落での耕作利用強度の推移（2000-2004年）

階級クラス（1～10）で高いほど村落周辺での耕作地の占有面積が大きい。

農業生態区分	村落名	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
スーダン・サバナ北部	Bani	3	2	4	3	2
	Birgondogo	4	2	2	7	2
	Boui-Boui	4	3	1	2	4
	Bouli	2	2	4	2	5
	Debere	2	3	1	2	5
	Denean	2	3	3	3	3
	Diguetao-Rimaibe	2	3	4	2	4
	FetoKoba	2	3	2	3	3
	Gaskinde	2	3	2	2	5
	Korko Natenga	4	6	2	3	3
	Korko Peulh	7	6	3	3	3
	Koubel-Alpha	2	4	2	2	4
	Koumbotaka	2	3	4	3	4
	Loura	2	3	3	1	4
	Mentao	2	2	2	1	3
	Niamanga	5	3	4	2	4
	Nimbo	4	2	4	4	6
	Noufoundou	1	2	3	2	4
	Oure	3	4	3	2	2
	Petelnangue	4	3	4	6	5
	Sambabouli	2	4	2	3	3
	Se	3	3	3	1	2
	Silguey	2	3	2	3	5
	Sim	4	4	6	3	2
	So	5	2	3	1	2
	Tondiata	2	3	3	3	2
	Yate	3	3	2	1	3

スーダン・サバナ南部	Balongho	2	2	3	6	3
	Baskouda Mossi	2	3	2	4	2
	Bendogo	5	1	2	4	2
	Bigtogo	1	2	5	6	3
	Bissinghin	3	2	3	4	2
	Boukou	3	4	4	6	3
	Darkod	6	5	3	2	7
	Doungou Nabitenga	3	2	2	3	4
	Doure	4	3	4	1	2
	Dourou	5	3	3	2	1
	Firka	2	1	2	7	4
	Gabou	6	2	3	8	6
	Gaskaye	4	1	2	3	2
	Guoema	6	3	1	6	3
	Kalse	5	3	3	3	1
	Kamse	5	3	1	3	3
	Kapon	6	4	4	1	2
	Katabtenga	3	2	3	5	3
	Kiema-Yarce	5	2	2	2	3
	Kirsi	7	3	3	3	2
	Koakin	4	3	3	6	3
	Kogho	7	1	2	4	2
	Kolbila	6	3	5	4	2
	Kona	5	5	4	4	2
	Koussago	7	3	3	2	2
	Lantaga	3	2	3	2	2
	Loungue-YTarce	6	2	2	3	3
	Nedego	4	2	2	1	2
	Nibella	4	2	3	2	2
	Noaka	3	3	2	5	3
	Nofourgo	2	3	5	4	3
	Ouavougae	3	3	2	3	2
	Ouonon	5	2	5	6	3

	Palegre	2	3	5	3	2
	Palsegue	3	1	2	4	4
	Pilinpikou	3	4	3	2	3
	Rakounga	5	2	4	3	2
	Rapadama V1	4	3	3	4	3
	Rapadama V4	3	3	2	5	4
	Ribou	4	2	4	1	2
	Sabtenga	6	2	3	8	2
	Samtaga	2	3	2	4	2
	Sandia	6	3	3	3	2
	Sassoka-Foulbe	6	2	2	2	3
	Seguedin	5	3	4	7	2
	Sekeba	3	3	2	2	2
	Sigle	3	4	4	6	3
	Silmiougou	4	3	5	2	2
	Tanguin	3	2	3	5	2
	Tatoukou	5	5	2	5	4
	Tebere	3	2	1	3	4
	Tia	5	3	5	4	2
	Toegin-Mossi	5	2	2	2	3
	Toegin-Yarce	5	2	2	2	3
	Toesin	2	2	2	2	3
	Tollingui	5	2	3	3	2
	Tomosgo	7	2	3	6	4
	Yantiga	5	7	2	4	5
	Yemseinde-Yarce	4	2	3	2	2
	Zibako	4	2	2	3	2
	Zongo	6	5	2	3	4

ギニア・サバナ北部	Bakoni	6	7	6	6	4
	Bana	6	7	3	3	1
	Bassana	3	4	5	2	1
	Basemyam	4	2	3	5	2
	Bereba	3	5	3	8	7
	Bissa	6	8	3	4	3
	Bombore V1	5	2	2	6	5
	Bombore V3	6	3	3	2	7
	Bombore V4	2	3	3	5	7
	Bouzourou	4	2	6	2	7
	Danou	5	9	3	5	2
	Dimikuy	3	7	4	7	3
	Diougou	2	2	5	2	1
	Dougbole	7	3	4	5	3
	Doure	7	2	2	8	2
	Fing	5	3	5	5	4
	Goghin	2	3	4	4	2
	Gogho	7	2	4	7	3
	Gouloure	10	2	3	3	1
	Goumsin	2	3	4	5	2
	Kandoure	4	2	6	2	3
	Kapa	7	2	3	3	2
	Keryaoghin	5	3	5	7	3
	Kiniwaga	6	3	4	6	1
	Kiongo	8	3	6	4	1
	Kogonoghin	6	2	4	8	2
	Koho	4	7	3	3	3
	Komsilga	3	3	5	5	3
	Koreba	6	5	5	5	2
	Koulnatenga	5	2	4	8	2
	Lofikahoun	2	8	5	3	6
	Lollo	6	7	3	2	2
	Mogtedo V1	3	2	3	2	5
	Mogtedo V2	3	2	2	3	5

	Mogtedo V3	3	1	2	3	7
	Mogtedo V4	4	2	1	5	7
	Naba Dabogo	2	3	5	5	3
	Nabou	4	4	3	8	9
	Nahi	1	2	7	5	4
	Naouya	2	3	6	2	5
	Ouona	4	3	2	9	5
	Popioho	6	6	4	6	4
	Sakoinse	4	2	6	6	1
	Saonre	4	2	5	4	3
	Sayaro	9	3	7	4	2
	Sienkoro	6	6	5	3	3
	Solonso	5	8	6	2	3
	Tenpaodogo	5	4	4	4	1
	Tiombio	5	2	4	4	4
	Ton	5	3	4	2	4
	Yerfing	2	5	3	6	6
	Yourkoudgin	2	2	3	5	2
	Zigiedesse	7	2	4	5	2
	Zoubini	5	2	6	6	2
ギニア・サバナ南部	Boulkpan	5	9	9	1	9
	Dangouandougou	6	5	8	9	3
	Gnaoue	2	2	10	5	5
	Koul Campement	2	1	6	3	1
	Lerbira	3	4	2	4	2
	Sikane	9	6	4	4	1