

# ADEOS-II/GLI 250 m モザイクデータを用いた ウガンダの土地被覆分類

曾山典子

(天理大学・人間学部)

村松加奈子

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

古海忍

(奈良佐保短期大学)

醍醐元正

(同志社大学・経済学部)

## Abstract

In Uganda, the deforestation is a big problem like another countries in Africa and Latin America, and farmland areas show a yearly increase. It is very difficult to detect the small farmland area using low resolution satellite data sets. In this study, we produced the land cover map of Uganda using ADEOS-II/GLI 250 m mosaic data sets. The classification conditions are determined by referring to the Land Cover/Use Map of the National Biomass Study 2003. Finally, we verified the land cover classification results with the ground truth data which are collected from August to September in 2008.

**Key words** : ADEOS-II/GLI 250 m, Uganda, Land cover classification, UPDM, MVI-UPD.

## 1 はじめに

近年、アフリカや中南米で問題になっている森林の急激な減少はウガンダでも見られるが、衛星データで見るウガンダは緑豊かな国である (Figure 1)。実際のウガンダは国土の約 85.5% が植物に覆われており、0.16% が「市街地、または荒地」、残りは水域である。森林伐採の原因の一つである、農地拡大はウガンダでも見られ、国土の 35% を Farmland (その大部分が小規模農場) が占めており、住居近くの狭い畑だけでなく、非常に傾斜のきつい山間地でも作物が栽培されている。ウガンダで現在残っている森林 (植林地を除く) の多くは保護区と指定されているが、周辺の住民による盗伐も少なくない。大規模な植林地以外の地域では、短期間で伐採するユーカリやアカシアなどが主に燃料資源として利用するために植えられており、これ

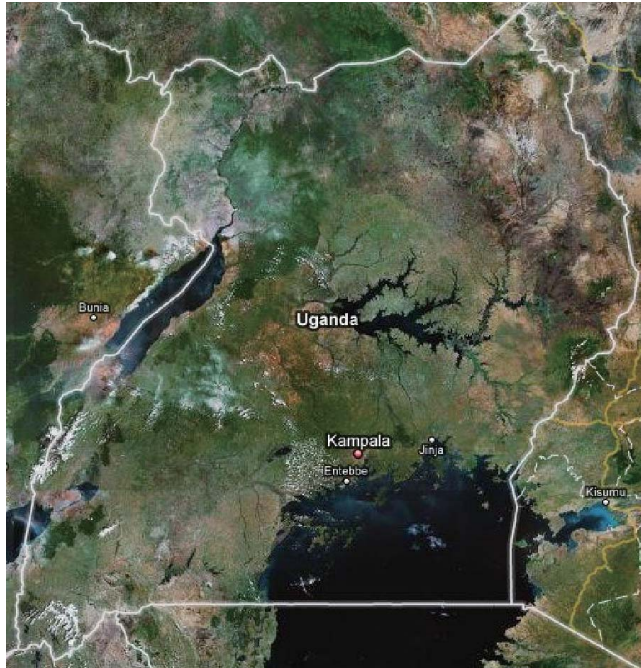


Figure 1 Uganda in Google Earth

らは短期間で伐採されるため直径 10 cm 未満の木が多く、植生被覆状態も密ではない。

我々はこれまで地球観測衛星 ADEOS-II/GLI 1 km モザイクデータセットを使い、全球の土地被覆分類を行ってきた。我々はできるだけ植生の特徴をダイレクトに得るため、分類条件を衛星データ（反射率）のみで決定する方法を取っている。そのため、世界のあらゆる気候帯の特徴を捉えることはできない。年間通して植生指標値が変動のない場合や、日本の米作のように植物の成長過程や期間がある程度予測できる農地の分類などは可能であるが、ウガンダのように狭い場所に年間通して何らかの食物を栽培している地域の土地被覆分類を行うことは難しい。

本研究では、全球土地被覆分類に使った ADEOS-II/GLI 1 km モザイクデータセットより高分解能である GLI 250 m モザイクデータを使い、ウガンダの土地被覆分類を行う。今回も衛星データのみ利用して分類条件を設定して分類を行い、その結果から問題点などを考察する。JAXA の次期プロジェクト GCOM-C 1 に搭載される予定の SGLI の 1 画素は 250 m 分解能であり、本研究の分類結果、および分類処理の問題点を挙げておくことは、SGLI を使う今後の研究の基本資料となり得ると考える。

本研究で設定した分類項目は、ADEOS-II/GLI 1 km を使って行った全球土地被覆分類の項目ではなく、National Biomass Study 2003 の資料を参考にして決めた (Table 1)。分類処理では、ground truth data を使ってサンプルサイトを決定し、サンプルサイトから収集した反射率からユニバーサルパターン展開法 (Universal Pattern Decomposition Method: UPDM) (L. F.

Zhang, 2003) を使って求める 4 つの UPDM 係数, および植生指標 (MVIUPD) (Y. Xiong, 2005) を計算し, これらの値を分類条件に使用する。本研究でサンプルサイトを決定するために使用した資料は, Uganda Ministry of Water Lands and Environment Forest department がまとめた National Biomass Study 2003 (Paul Drichi, 2003) である。この資料には, 1990 年の SPOT XS 衛星画像を使ったウガンダの Land Cover/Use Map がある。本研究で使用する GLI 250 m データセットが 2003 年 2 月から 10 月までに取得されたものであり, ウガンダの 13 年後の土地被覆分類図を作成することは, ウガンダの土地被覆分類の変化を見るという面からも意味があると考えられる。本稿では, 最終分類結果を現地調査で収集した ground truth data を使って検証し, 考察した結果を報告する。

## 2 分類方法

### 2.1 使用したデータ

#### ADEOS-II/GLI 250 m モザイクデータ

本研究で使用した ADEOS-II/GLI 250 m データは ch 20 の最小値を使って 16 日間でコンポジットされたモザイクデータで, 大気補正処理がされた L 2 ACLC である (EORC JAXA, 2006)。本研究で処理した領域は, Tile 24 (30° N 30° E ~ 0° N 60° E) に含まれている 4° 30' N 30° 00' E から 0° 00' N 35° 00' E の矩形である。GLI 250 m モザイクデータの 1 タイルは縦 14400 画素×横 14400 画素で構成されているが, 本研究で使用するエリアは縦 2160 画素×横 2400 画素である。ただし, この領域はウガンダの全域ではない。ウガンダ南部および東部は, Tile 23, Tile 35, Tile 36 にも含まれるが, JAXA が提供している GLI 250 m モザイクデータセットにこれらの Tile が含まれなかったため, Tile 24 に含まれる領域のみ処理を行うことにした。

JAXA から提供された 16 シーンのうち, ウガンダ域のデータが存在する 14 シーン (2 月 18 日, 3 月 22 日, 4 月 7 日, 5 月 9 日, 5 月 25 日, 6 月 10 日, 6 月 26 日, 7 月 12 日, 7 月 28 日, 8 月 13 日, 8 月 29 日, 9 月 14 日, 9 月 30 日, 10 月 16 日) を使う。使用したバンドとその中心波長と波長幅は Table 1 に示したとおりである。水域の抽出には, qc\_flag データセット

**Table 1 Band number and wavelength of ADEOS-II/GLI 250 m mosaic data**

Channel Number	Central Wavelength	Spectral Width
20	460	70
21	545	50
22	660	60
23	825	110
28	1640	200
29	2210	220

を利用した。

### Ground truth data

分類条件を決定するために使用するサンプルサイトの位置情報は、National Biomass Study 2003 technical report (Paul Drichi, 2003) (以降 NBS と呼ぶ) の Land Cover/Use Map を参考にした。この Map は、1990 年の SPOT XS を使って作成されている。各サンプルサイトの位置に関しては、Uganda Districts Information Handbook, Expanded Edition 2007–2008 (Uganda Districts, 2007) も同時に使用した。

本研究で作成した土地被覆分類の検証には、2008 年 8 月末から 9 月中旬 (ウガンダ南部は雨季) にかけてウガンダ南部で収集した Ground truth data を使用する。

### 2.2 ユニバーサルパターン展開法 UPDM と植生指標 MVIUPD

分類条件で使用する値は、各画素の 6 波長帯のスペクトルパターンデータを入力データとし、ユニバーサルパターン展開法 (UPDM: Universal Pattern Decomposition Method) (L. F. Zhang, 2003) を使って変換した 4 つの展開係数 (水の展開係数  $C_w$ , 植生の展開係数  $C_v$ , 土壌の展開係数  $C_s$ , 黄葉成分を補うための展開係数  $C_4$ ) と 4 つの展開係数を使って求めた植生指標 MVIUPD (Y. Xiong, 2005) である。

UPDM は、 $n$  本の波長帯で観測された分光反射率を 4 つの展開係数、水の展開係数  $C_w$ , 植生の展開係数  $C_v$ , 土壌の展開係数  $C_s$ , 黄葉成分を補うための展開係数  $C_4$  に変換する解析手法で、展開するとき使用する基本パターンを 350 nm ~ 2500 nm の波長帯で規格化しており、これらの展開係数は観測センサーに依存しない結果を得ることができる。改良植生指標 (MVIUPD) は、UPDM により得た 4 つの展開係数を使って算出する。

UPDM の 3 係数  $C_w C_v C_s$  はそれぞれ、対象画素の土地被覆物が水、植生、土壌が単一で被覆物に近い場合、顕著にその係数の値が高くなり、植生指標 (MVIUPD) は、植生の被覆率や活性度が高いほど高い値を示す。Figure 2 は、ウガンダの湖、熱帯雨林、市街地から取ったサン

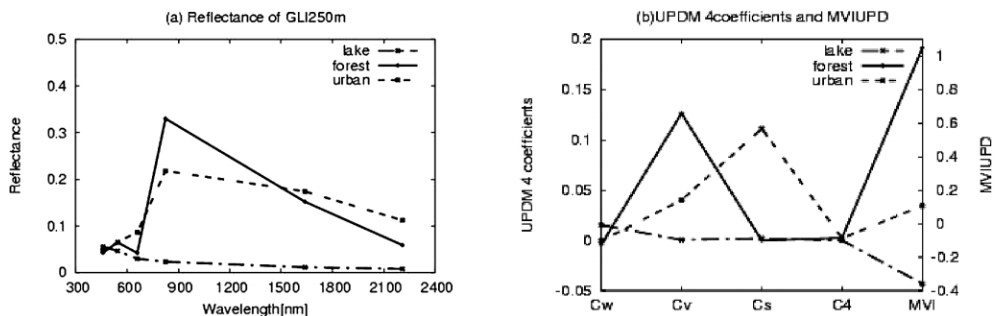


Figure 2 (a) Spectral reflectance of GLI 250 m mosaic data sets for lake, forest and urban, (b) The Universal Pattern Decomposition Coefficients ( $C_w$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ ,  $C_4$ ) and MVIUPD

プルサイトの各画素の6つの波長帯の spectral reflectance とその spectral reflectance を入力データとして UPDM で計算した4つの UPDM 係数と MVIUPD を示している。湖 (lake) では  $C_w$  が、熱帯雨林 (forest) では  $C_v$  が、市街地 (urban) では  $C_s$  が最も高い値を示し、 $C_v$  が最も高い熱帯雨林の MVIUPD が高い値を示していることがわかる。このように UPDM 係数と MVIUPD は、被覆物の特徴を抽出するために効果的である。本研究では、分類条件を決定するために、サンプルサイトの被覆物の特徴を UPDM 4 係数および MVIUPD 値を使って調べた。

### 2.3 分類項目

NBS によると、ウガンダの面積占有率上位4項目の Small\_Scale (None Uniform) Farmland, Grassland Woodland, Openwater がウガンダ全面積の87%を占めており、残りの項目中4項目の Bushland, Tropical High Forest, Wetlands, Tropical High Forest が12%を占めている。その他の項目 (Broadleaved Tree Plantation or Woodlot, Coniferous Plantation, Uniform or Large-Scale Farmland, Build-Up Area, Bare rock Barren soil) が占める割合は1%未満である。土地利用としての分類は GLI 250 m データのみを使って行うことは難しいと考え、類似した被覆特徴で分類項目をまとめることにし、Table 2 に示した8項目 (Forest, Woodland, Bushland, Grassland, Wetlands, Farmland, Barren lands, Water body) を本研究の分類項目として設定することにした。Table 2 の Land cover item description of NBS に、本研究の分類項目と対応する NBS の分類項目を記している。

**Table 2 Land cover items and description**

Land cover item of this study	Land cover item description of NBS
Forest	1) Plantations and woodlots – deciduous trees/broadleaves, coniferous trees. 2) Tropical High Forest – normally stocked, depleted/encroached
Woodland	3) Woodland – trees and shrubs (average height >4 m)
Bushland	4) Bushland – bush, thickets, scrub (average height <4 m)
Grassland	5) Grassland – rangelands, pastureland, open Savannah ; May include scattered trees shrub, scrubs and thickets
Wetlands	6) Wetlands – wetland vegetation ; swamp areas, papyrus and other sedges
Farmland	7) Subsistence farmland – mixed farmland, small holdings in use or recently used, with or without trees. 8) Uniform commercial farmland – mono-cropped, non-seasonal farmland usually without any trees for example tea and sugar estates.
Barren lands	9) Built up area – Urban or rural built up areas. 10) Impediments – bare rocks and soils.
Water body	11) Open water – Lakes, rivers and ponds.

## 2.4 分類処理

分類処理は Figure 5 に示したフロー図に従って行った。水域以外の分類条件は UPDM 係数と MVIUPD を使って決定している。Figure 3 は、NBS の Land Cover/Use Map を使って選択したサンプルサイトのデータから UPDM 係数と MVIUPD 値を計算し、それぞれ最高頻度値を使って作成したグラフである。各分類項目で選択したデータは、その項目の面積が最も広い district から選択している。

Forest と Woodland の MVIUPD 値は他の分類項目の値と比較して全シーンを通して高く、Barrenland の MVIUPD 値は低い。Figure 4(a) は  $MVIUPD < 0.4$  であるシーン数、4(b) は MVIUPD 最高値 ( $MVIUPD \geq 1.0$  は 1.0,  $MVIUPD < 0$  は 0 とした) をそれぞれカラーで示した図である。Figure 7 の NBS による分類図と比較すると、Figure 4(b) の MVIUPD 最高値の高いエリアと NBS の Forest, Woodland が大体合っており、 $MVIUPD < 0.4$  のシーン数が多いエリアが Grassland, Bushland と類似した位置にあることがわかる。

Barren の値は、首都 Kampala の最も植生が少ないエリアの値であるが、Kampala 市街地においても中心地以外には植生被覆率が高いエリアも多いため、NBS の分類図で Barren に分類されているエリアの MVIUPD 値は、Figure 3 に示した値より高い。同様に NBS の分類図で Wetland に分類されているエリアの MVIUPD 値も高い。Uganda の Wetland の多くはパピルスが群生している場所であり、植生被覆率は高いからである。Figure 3 に示した値は、湖に近いサイトから収集したデータであり、水によるセンサーへの影響が出ている可能性が高い。

Figure 3 の Farmland は、面積が広い GULU, APAC, LIRA の 3 地域から選択したデータである。これらの地域は隣接しており、気候も類似しているが、ウガンダ全域ではこれと異なる気候帯の地域も多い。気温は 1 年を通して変化が少ないが、雨期乾期の月は地域によって多少異なっている。ウガンダでは化学肥料や化学的防虫剤などを使用しない、自然農法を施す畑が多く、その地域の気候に合う栽培を行っている。本研究では、Figure 3 の Farmland と異なる特徴を持つエリアからもサンプルデータを収集し、分類条件を設定している。

Water Body の抽出は JAXA が提供している 250 m モザイクデータセットの qc\_flag データを利用して分類を行ったが、面積の小さい湖（たとえば、Lake Wamala）など、qc\_flag データで水域になっていないエリアがある。今回の分類ではこれらは Wetlands に分類される。

本研究で使用する GLI 250 m L 2 ACLC データは c20 を使ってモザイク済みではあるが、雲の影響を強く受けているデータが少なくない。今回はこれらのデータの補間処理は行わずに条件を設定した。

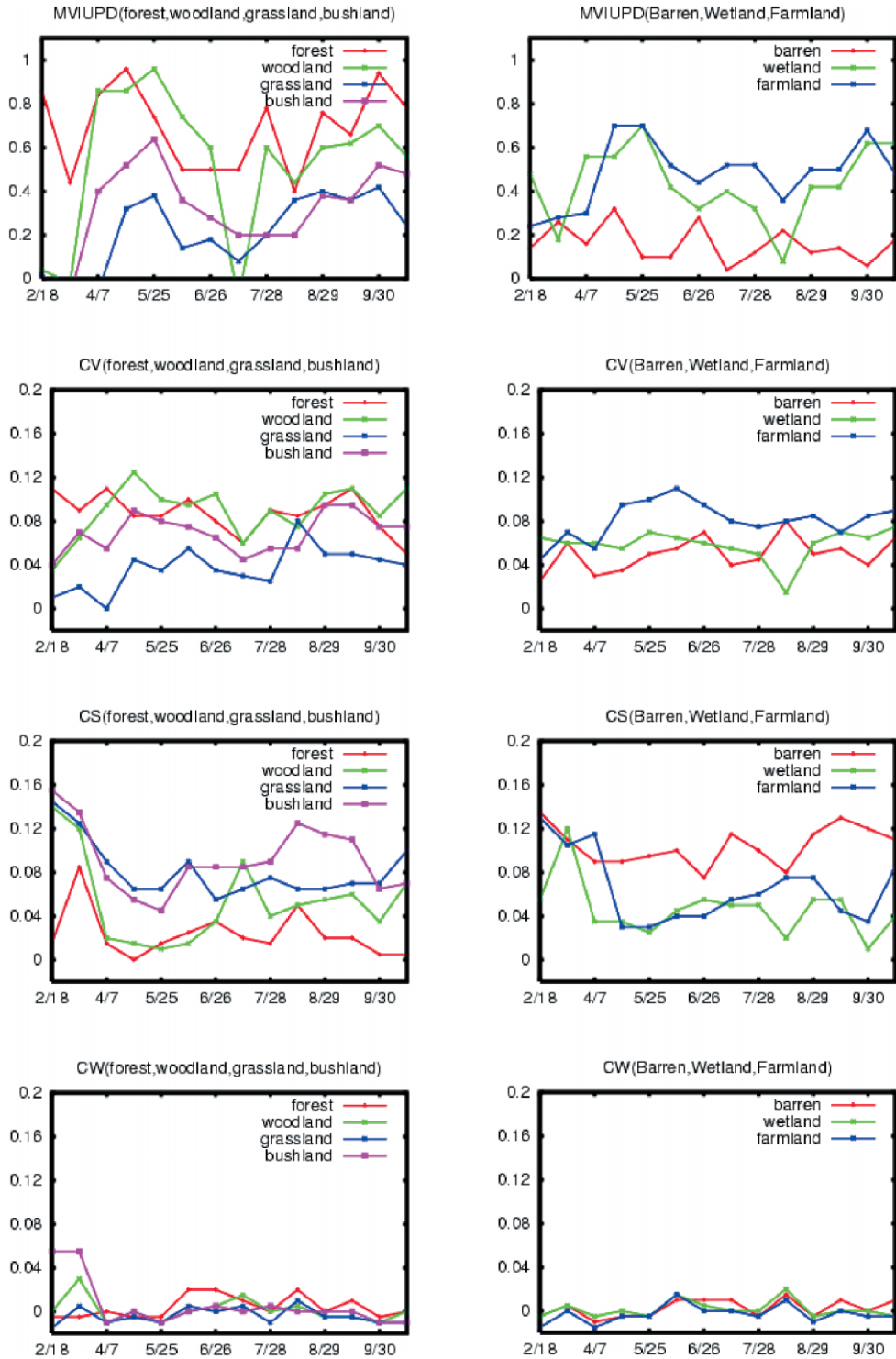


Figure 3 The UPDM Coefficients and the MVIUPD of Sample data

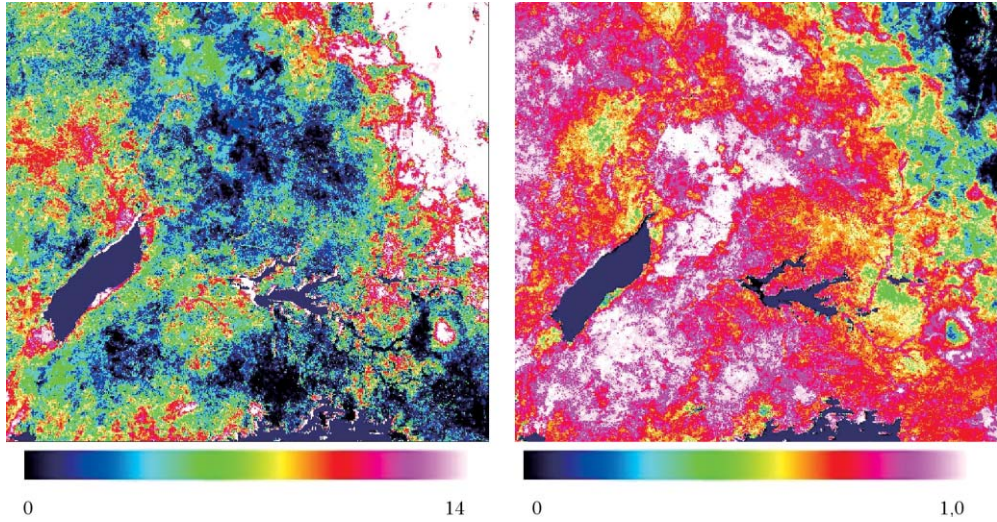


Figure 4 (a) Scene numbers of MVIUPD<0.4 (b) The value of the highest MVIUPD

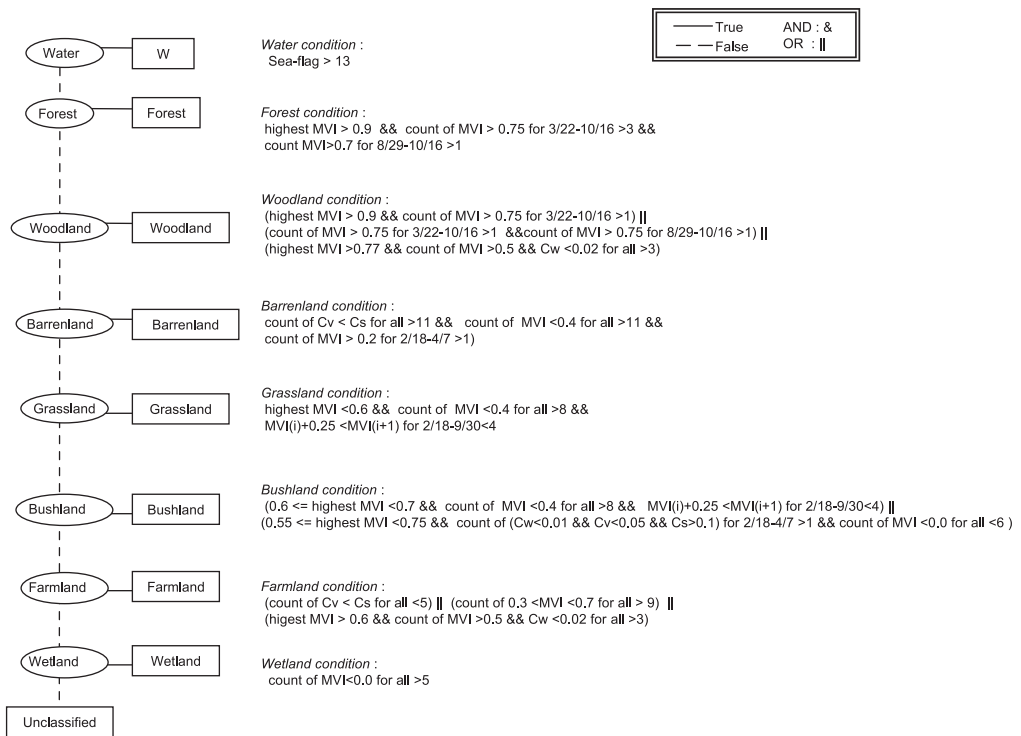


Figure 5 Classification procedure flowchart.

### 3 分類結果と考察

Figure 6 は前述の分類処理に従って作成した 4° 30' N 30° 00' E から 0° 00' N 35° 00' E の土地



被覆分類図である。Figure 7 の NBS Land Cover/Use Map の青色矩形内のエリアがこの領域にあたる。NBS の Land Cover/Use Map と目視により比較した結果は次のとおりである。

Forest は森林保護区を大体抽出できているが、ウガンダ北部 (KITGUM) で Forest に分類されているエリアが多く、NBS の Map と異なっている。このエリアの MVIUPD 値は Figure 4 に示されているように非常に高く、MVIUPD 値が低いシーン数も少ない。これらの特徴は森林保護区と類似している。Woodland は shrub も含むので乾期に MVIUPD が低くなると考えられるが、ここで forest に分類されたエリアは乾期の MVIUPD 値も高い傾向にあった。13 年前の NBS の Map を作成した時点での被覆状態が変化した可能性もあるので、現地調査などで確認する必要がある。

Grassland は NBS の Map と大体同じエリアを抽出しているが、市街地に Grassland に分類されているエリアが多い。Barrenland は、首都 Kampala のできるだけ植生被覆物がないエリアをサンプルサイトに選んで条件を決めたが、Grassland のサンプルエリア (KOTODO) の各値とさほど差異がないため、植生被覆物が多少なりとも存在するエリアは Grassland に分類されている。GLI 1 km のデータセットを使つての分類では、市街地の MVIUPD は正負がランダムに出現するなど Grassland とはかなり異なる特徴を持っていた。GLI 250 m の市街地の特徴を他のタイル (例えば日本) で調べる必要がある。

Bushland は NBS の資料に基づき、最も Bushland の面積が広い地域 (KOTIDO, MOROTO) から選択したが、このエリアにおいても分類結果は NBS の Map と異なるエリアが少なくない。実際、資料に従って選択したサンプルサイトの MVIUPD 等にばらつきがあり、資料作成時から被覆状態が変化している可能性もある。ただ、URA, KATAKWI の Farmland が Bushland に分類された結果は誤分類である可能性が高い。Farmland も気候に影響を受けるが、このエリアでは MVIUPD の特徴が Bushland と類似している。前述のとおり、ウガンダでは小規模の農地が多く、そこで栽培される種類も多様である。たとえばバナナは至る所に栽培されているが、広い領域に密集して栽培されているエリアでは植生指標値は Figure 3 で示す値より高くなるであろう。Farmland を Land Use item として位置づけるならば、バナナのような種も Farmland に分類されるが、衛星データだけを使って Land Cover item として分類する場合には、これらの作物は別の項目として分類した方がよいかもしれない。

Wetland は水域の近くは抽出できているエリアが多いが、それ以外は Grassland や Farmland に分類されている。前述したように、Uganda の Wetland の多くはパピルスが群生している場所であり、植生被覆率は全体的に高い。水域に近いエリアでは分類条件に合っているため、Wetland の抽出が大体できている。

Table 3 は現地で調査したポイントの被覆物と本研究の分類結果の検証結果を示している。調査ポイントは道路に比較的近い場所であり、その被覆状態も GPS を採つたポイントからのやや狭い領域を見て判断した項目である。Bushland と Woodland は今回の調査では収集できな

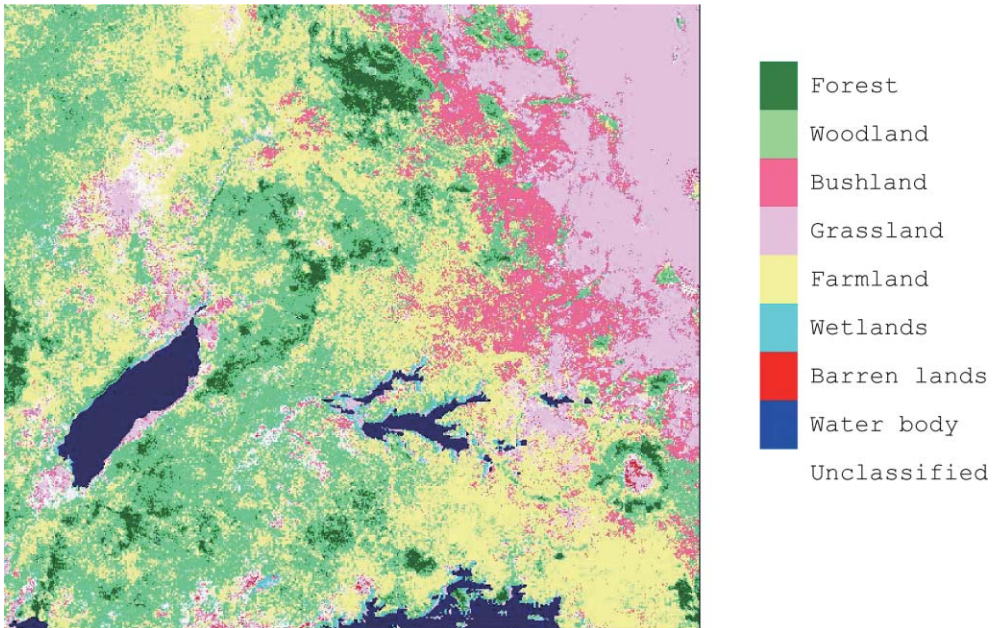


Figure 6 Final results of classification using ADEOS-II/GLI 250 m mosaic data sets

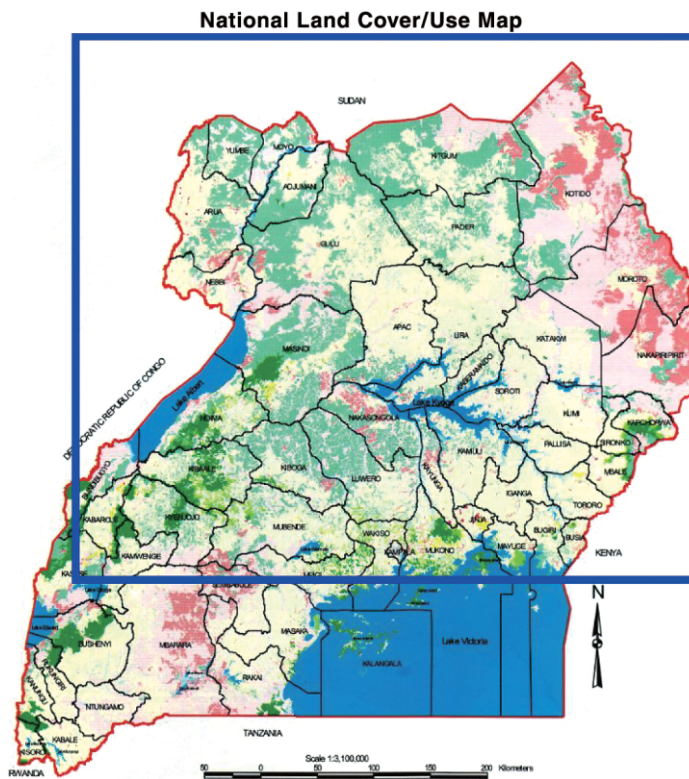


Figure 7 Land Cover/Use Map produced using SPOT XS (National Biomass Study 2003)

**Table 3 Confusion matrix showing agreement between the ground truth data (columns) and land cover data determined by this study (rows)**

		Ground truth data					Row total
		Forest	Grassland	Farmland	Wetland	Barrenland	
Results of this study	Forest	1					1
	Woodland	2		4			6
	Bushland		1	2	1		4
	Grassland		3			3	6
	Farmland		2	13	4	3	22
	Wetland				3	1	4
	Barrenland					2	2
Column Total		3	6	19	8	9	45
Correct Ratio		33.3%	50.0%	68.4%	37.5%	22.2%	

かった。

現地で収集したポイント情報との検証結果では、Farmlandの合致率が高かった。Forestは3つの森林保護区で採ったポイントであるが、Woodlandに分類された2つのエリアは、雲の影響を受けたシーンが多く、Forestの分類条件を満たさなかった。Wetlandの誤分類されたエリアの調査ポイントはパピルスが群生している場所である。Barrenlandで正しく分類されたエリアは、Kampala市街地の完全に道路と建物だけのエリアであり、誤分類された調査ポイントは小さい町で周囲が農地であるため、他の分類項目に分類されてしまった。

Grasslandの誤分類された調査ポイントは、Figure 3で示された分類条件を設定するために選択したサイトと気候帯が異なるエリアである。このエリアは植生被覆率が100%であるため、今回のGrasslandの分類条件に合わなかった。GLI 1 kmの全球土地被覆分類においても示唆している通り、土地被覆の表面状態を立体再構成をすることができればGrasslandのように平坦な被覆状態とForestやWoodlandのように立体的な被覆状態の区別を行うことができると考える。次期JAXAのプロジェクトでは偏光・多方向観測機能を持つセンサーが搭載される予定であり、これを可能にすることが期待できる。

#### 4 おわりに

本研究ではADEOS-II/GLI 250 mモザイクデータセットを使ってウガンダの土地被覆分類を行った。分類項目は、National Biomass Study 2003の分類項目を参考にし、8項目を設定した。資料中のLand Cover/Use Mapは13年前のSPOT XSを使った分類結果であるが、分類条件を決定するためのサンプルサイトはこれを参考にして収集した。本研究での分類結果はLand Cover/Use Mapと現地調査で収集したground truth dataにより検証した。NBSのMapとの目視による比較では、異なる分類項目に分類されたエリアが観られたが、これらのエリアの

UPDM と MVIUPD 値が示す被覆状態の特徴は、各項目の分類条件に合うものであった。この結果が13年間の植生被覆状態の変化によるものか、または分類処理によるものかを調べるため、現地調査、他の衛星データの使用、日本の分類を行うことなどで確認したい。

Farmland は、今後のウガンダの自然環境をモニタリングする上では重要な項目である。実際、ウガンダは温暖湿潤な気候の元で豊富な食糧を維持できる国として知られているが、近年政情不安で食糧が不足している近隣の国への輸出が増えてきており、今後も農地拡大が増加する可能性が高いと考えられる。また、原生林が残っている森林は保護区として国の管理下においているが、地域住民による保護区内の盗伐は少なからず存在して問題になっており、森林保護の面からも衛星データによるモニタリングは必要である。ウガンダの土地被覆分類の変化を観察するためにも、JAXA の次期プロジェクト GCOM-C 1 に搭載される SGLI の有効性が期待される。

#### 謝辞

本研究で使用した ADEOS-II/GLI 250 m モザイクデータは、JAXA より提供されたものである。また、本研究は文部科学省フロンティア推進事業（平成11年度～20年度）により行われた。現地の資料の収集について、Ugand Makerere University の Tushabe 氏にアドバイスを受けた。ここに感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- EORC JAXA: ADEOS-II Data Users Handbook, Third Edition, 2006.
- L. F. Zhang, S. Furumi, K. Muramatsu, N. Fujiwara, M. Daigo, and L. P. Zhang. Sensor-independent analysis method for hyper-multi spectra based on the pattern decomposition method. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, No. 21–22, pp. 4899–4910, 2006.
- Paul Drichi (project manager). National Biomass Study Technical Report of 1996–2002, 2003.
- Primary Social Studies ATLAS for Uganda, Macmillan Uganda Ltd, 2004.
- 曾山典子, 辻本裕子, 村松加奈子, 古海忍, 醍醐元正, “ADEOS-II/GLI データを用いた全球土地被覆分類に関する考察”, 同志社大学ワールドワイドビジネスレビュー, 第9巻, 第1号, 2007年9月, pp. 123–136.
- Uganda Districts Information Handbook, Expanded Edition 2007–2008, Fountain Publishers.
- Y. Xiong, L. Chen, S. Furumi, K. Muramatsu, M. Daigo, N. Fujiwara: Estimation of global terrestrial net primary production using ADEOS-II/GLI data, *Proc. of the Forth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition*, 2005.