

短 報 (Short communication)

大規模森林開発地判読のための道路網抽出

齋藤 英樹^{1)*}

要旨

本研究は、大規模森林開発地判読の有効な判読キーとなる道路網を衛星データから抽出する手法の検討を目的とする。研究対象地はカンボジア王国コンポントム州およびプレビヒア州にまたがる森林地帯である。解析にはランドサット 8 号 OLI データを用いた。エッジ保存平滑化フィルタを施した NDVI 画像に対して、エッジ検出処理やフィルタ処理を施し、大規模森林開発地に特徴的な東西南北に走る道路網を抽出した。若いゴム林内の道路網は抽出できたが、開発直後の裸地状態およびゴム林が成熟して道路が被覆された状態では、抽出されない部分があった。今後は、今回の試みで抽出された道路網データと NDVI 差分画像などを組合せ森林変化地の自動抽出技術を開発する。

キーワード：カンボジア、プランテーション、ランドサット 8 号 OLI データ、エッジ抽出

1. はじめに

現在、多くの途上国では、土地被覆図などはランドサットや SPOT といった人工衛星から取得されたデータから森林の判読に適したカラー合成画像を作成し、プリントアウトして図面上で判読、トレースする、あるいはスクリーン上で判読、デジタイズするなどして作成されている。いずれにしても、これら作業は目視判読を伴うため時間や手間がかかる。こうした作業の効率化のためコンピュータを用いたデジタル画像分類を取り入れる試みがなされている。特に近年、オブジェクトベースの分類手法が提案され目視判読に近い領域分割がコンピュータによって可能となっている。しかし、ゴム林などでは成熟するに従い、そのスペクトル特性が通常の森林のそれと似通ってくるため、実際の分類は容易ではない。特に、異なる開発ステージのプランテーションがパッチ状に存在する場合や、カンボジアのように落葉林が存在する場所では、植生指数の差分などの一般的な土地被覆分類手法では誤分類が生じやすい。一方で、カンボジアにおけるゴム林の大規模開発地では、森林の伐採の後、稚樹の植栽に先行して南北に走る幅員約 5m の道路網の整備が行われるため、大規模開発地の判読において重要なキーとなりうる。プランテーションなどの大規模開発地の道路網は、カンボジアのほとんどの地域で東西および南北に直線となっている。山岳地域では東西南北以外の道路パターンも見られることから、地形が平坦な地域では東西南北に道路を作ることが植え付けや収穫などの管理上、合理的と判断されているものと思われる。

衛星画像から道路網を抽出する手法については、都

市部において試みられているが森林地帯を対象として行われた事例は少ない。本研究ではリニアメント抽出手法(岩下 1992)を参考にカンボジアのゴム林大規模開発地に特徴的な東西南北に直行する道路網の抽出を試みた。

2. 方法

2.1 研究対象地

研究対象地は、カンボジア王国コンポントム州およびプレビヒア州の間に広がる約 60km 四方の森林地帯である(図 1、E104°44'30" - E105°17'30"、N12°50'50" - N13°23'30")。この地域には、カンボジアの典型的な森林タイプである常緑林および落葉林が分布しており、また森林の周辺では、村落があって地元住民による森林の利用が衛星画像からも確認できる。さらに近年では森林の大規模な開発が急速に進んでおり、それに伴って整備された道路網を衛星画像上で目視においても確認できる。

2.2 使用したデータ

使用したデータは、地球観測衛星であるランドサット 8 号(Landsat-8)に搭載されている OLI (Operational Land Imager) のマルチスペクトルデータである。このデータは米国地質調査所(USGS)の Earth Explorer サイトよりダウンロードした。画像の取得日は 2016 年 1 月 2 日である。ランドサット 8 号 OLI の観測波長帯は、可視域に 4 バンド、近赤外域に 1 バンド、短波長赤外域に 2 バンドの合計 7 バンドであり、地上分解能は 30m である。ランドサットデータは、上記サイトか

原稿受付：平成 28 年 11 月 14 日 原稿受理：平成 29 年 3 月 8 日

1) 森林総合研究所森林管理研究領域

* 森林総合研究所森林管理研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

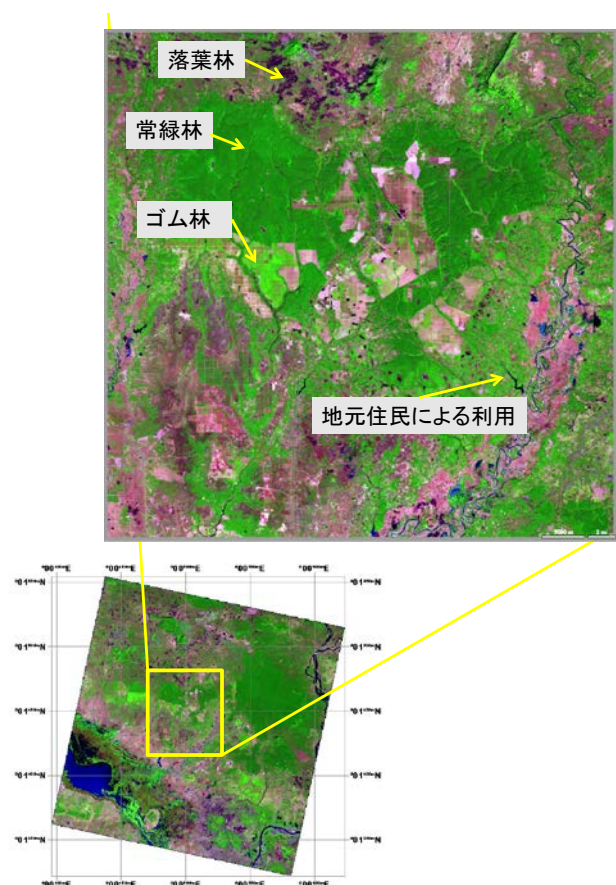


図1 研究対象地

ら無料で入手できることから途上国での土地被覆図作成には最も広く用いられている。今回対象としたカンボジア王国においてもランドサット衛星画像を利用して土地被覆図が作成されている。

本研究の解析に使用したソフトウェアは、画像解析ソフトウェアの ERDAS Imagine 2015、ERDAS Imagine 用の大気補正モジュールである ATCOR2 for ERDAS Imagine、ラスタデータとベクタデータを同時に操作

できる TNTmips2016 およびオープンソースの画像解析ライブラリである Python 版 OpenCV (Open Source Computer Vision Library) v3.1 である。

2.3 前処理

ダウンロードしたランドサット 8 号 OLI データは、ATCOR2 for ERDAS Imagine を用いて大気補正を行い、大気の影響を軽減した上でデジタルナンバーを反射率に変換した。この際、本研究の対象地は、地形が平坦であることから地形効果補正は行わなかった。

2.4 道路網抽出処理

道路網の抽出には植生域と道路で強いコントラストを示す NDVI 画像を用いた (図 2)。NDVI は、OLI データのバンド 5 (近赤外域、NIR) とバンド 4 (赤色域、Red) を用いて計算した。

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (式 1)$$

ここで、NDVI は植生指数、NIR は近赤外域バンド、Red は赤色域バンド

本研究での道路網抽出処理は、1) エッジ保存平滑化処理、2) エッジ検出処理、3) 縦線、横線抽出処理、4) ラスタ→ベクタ変換の 4 段階からなる。

2.4.1 エッジ保存平滑化

道路網抽出にはエッジ検出と呼ばれる処理を行う必要があるが、エッジ検出はその過程において目的とする線情報だけでなくノイズも強調してしまう。このためエッジ以外の部分については平滑化処理を行い、極力強調されないようにする必要がある。このため、今回の解析では、バイラテラルフィルタ (Tomasi et al. 1998) と呼ばれるエッジ保存平滑化フィルタを適用し、エッジを保存しつつ平滑化を行った。この処理には OpenCV3.1 に実装されている、cv2.bilateralFilter() を利用した。

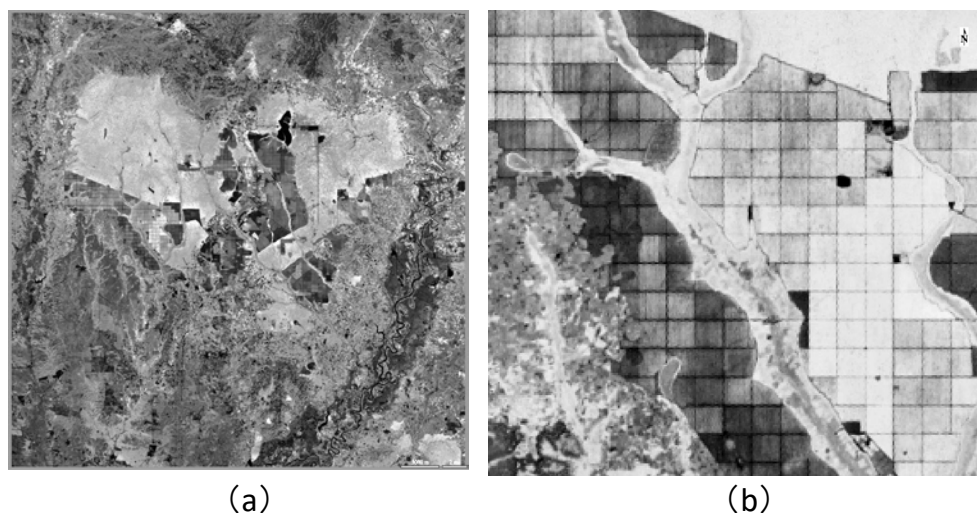


図2 (a) 研究対象地の NDVI 画像 (b) ゴム林開発地を拡大した画像

2.4.2 エッジ検出処理

エッジ検出には様々な手法があるが、本研究では、line に強く反応する空間 2 次微分であるラプラシアンフィルタ (Jensen 1996) をエッジ要素検出手法として用いた。このエッジ検出処理の後、2 値化および細線化処理を施した。これらの一連の処理は、TNTmips を用いて行った。

2.4.3 縦線、横線抽出処理

2.4.2 の処理では 8 方向のエッジ要素を検出するが、カンボジアのプランテーションの大規模開発では、東西南北方向に等間隔で道路を敷いていることがほとんどである。このため大規模開発特有の道路網を抽出するため、図 3 に示す縦線、横線抽出用フィルタ処理で行った。5 × 5 のオペレータを使用したので、5 ピクセル連続する線を強調するフィルタである。フィルタサイズについて、3,5,7,9 と変えて検討した。3 から 5 に変えるとノイズを押さえて線を抽出できた。7,9 とフィルタサイズを大きくすることで、よりノイズを抑えることができたが、線の両端部分を検出できなくなることから、検出能力とノイズ除去のトレードオフを考慮し、今回はフィルタサイズを 5 とした。

2.4.4 ラスターベクタ変換

縦線と横線が強調されたラスタ画像をそれぞれベクタに変換した。変換の際には、ノイズによるはみ出しライン (Dangling line) は閾値を 5 ピクセル (150m) に設定し、これ以下の長さのラインを除去した。この閾値は 1 ピクセルから 10 ピクセルまでの閾値を試し、道路情報が失われずにノイズが除去できる大きさを目視で選んだ。ベクタ変換後、縦線と横線のベクタを合成した。ここまでの処理により南北方向に走る大規模森林開発地の道路が抽出されているが、それ以外にも集落周辺の道路や河川が抽出され、また落葉林や集落の周辺に道路ではないリニアメントも抽出された。そこでこうしたノイズを取り除くため、ベクタのフィル

タ処理で 300m より短いラインを除いた。フィルタ処理のうち、長さの閾値調整はベクタデータの方が容易であるため、画像処理段階では、ノイズが含まれつつも必要なデータを含むような処理を行い、ベクタでのフィルタで必要な道路データの抽出を行った。

2.5 大規模開発の判読

2.4 で抽出された道路網と大規模開発地域の地理的な関係性を評価するため、対象地域内の大規模開発地をランドサット 8 号 OLI データからバンド 4,5,6 を用いてカラー合成画像を作成し、目視判読で道路網を抽出した。

3. 結果

図 4 はエッジ検出処理の一連の結果、図 5 は縦線、横線の抽出結果、図 6 は、ラスターベクタ変換して縦線と横線を合成したラインと、300m より長いラインのみを表示したもの、図 7 は縦線と横線の抽出結果を NDVI 画像上に表示したものである。図 8 はカラー合成画像上に大規模開発地域 (赤線) と道路網を重ねた画像であり、両者は概ね重なっていた。大規模開発地域外の道路や河川、その他道路以外のリニアメントの影響は軽減されていた。大規模開発地域内でも開発直後とみられる裸地と成熟したゴム林内では道路が抽出できていない部分があった。

4. 考察

本研究では、NDVI のオリジナル画像にエッジ保存平滑化フィルタを適用した後、エッジ検出処理、縦線、横線の抽出フィルタ処理を行った。縦線、横線抽出フィルタでは、そのフィルタサイズを大きくすることにより、ノイズを抑えより長い線を検出できる。しかし、今回解析に用いたフィルタはそのカーネルデザイン (図 3) の特性上、フィルタサイズを大きくすると両端部を

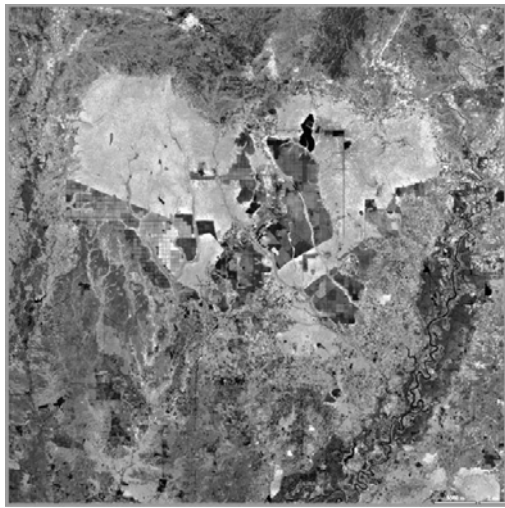
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0

(a)

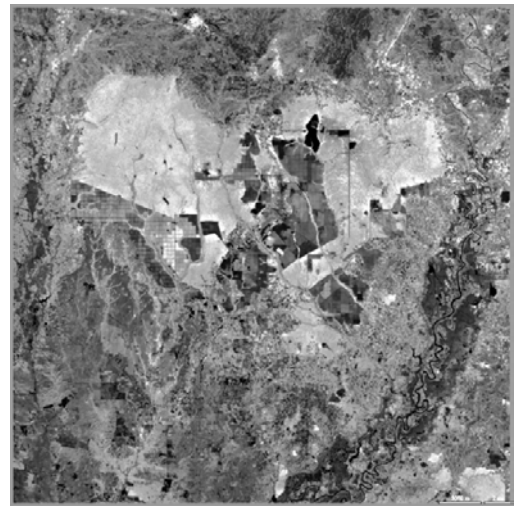
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b)

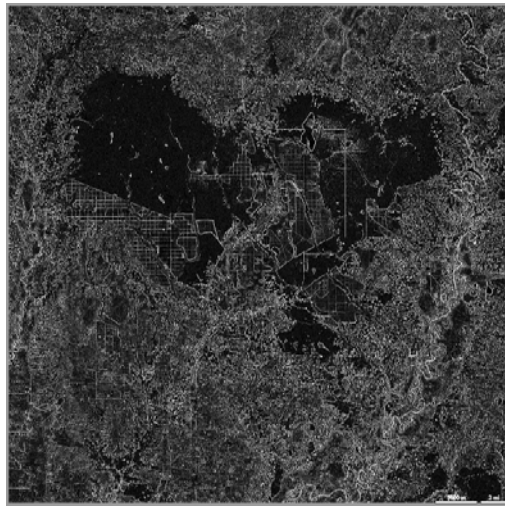
図 3 縦線 (a)、横線 (b) 検出用フィルタのオペレータ



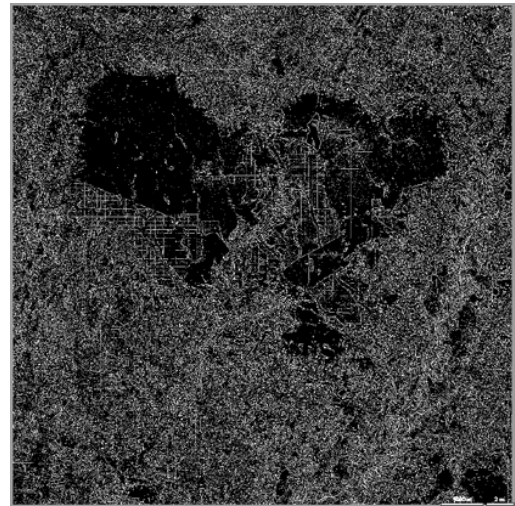
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

図4 エッジ検出処理の結果

(a) オリジナルの NDVI 画像 (b) バイラテラルフィルタ適用後
(c) ラプラシアンフィルタ適用後 (d) 二値化後 (e) 細線化後

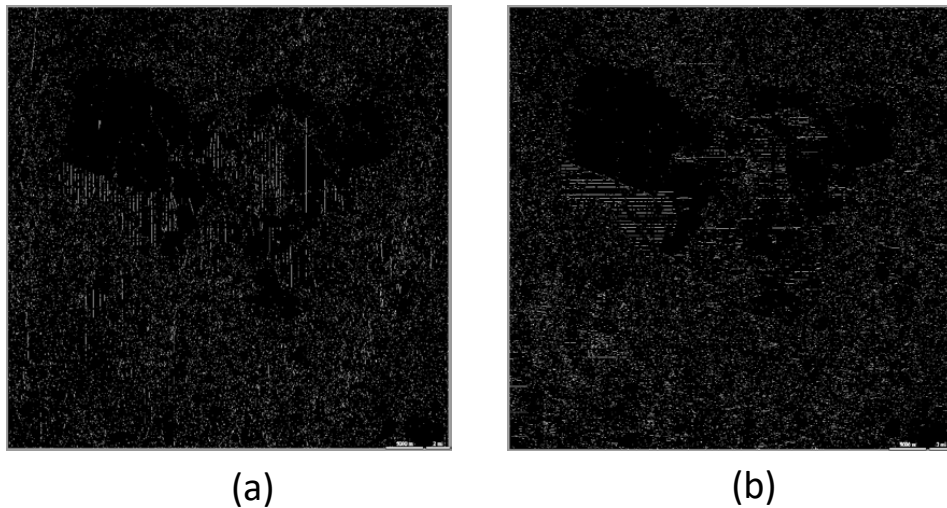


図5 (a) 縦線の検出結果 (b) 横線の検出結果

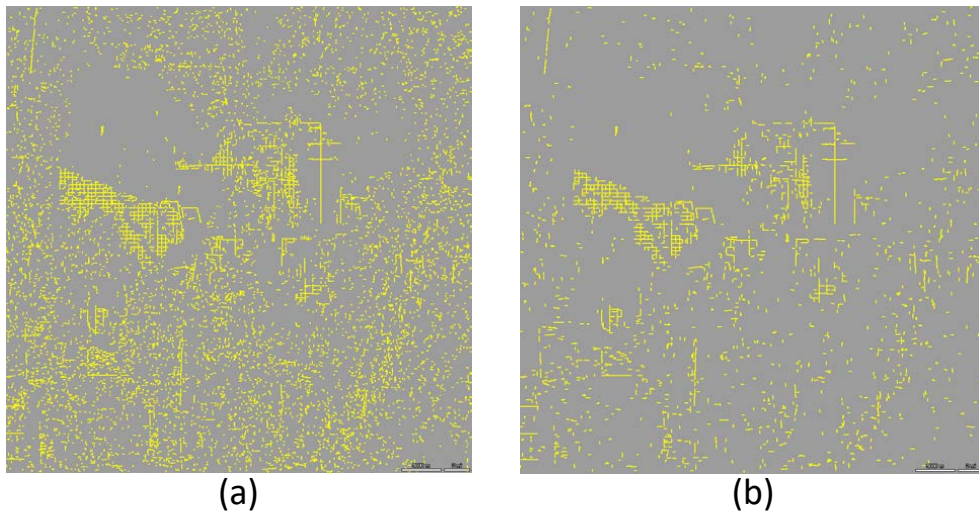


図6 ラスターベクタ変換して縦線と横線を合成したライン (a) と 300m より長いラインを表示したもの (b)

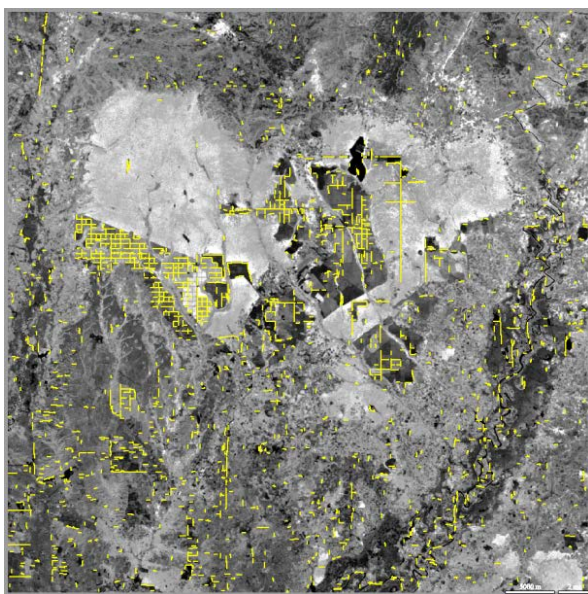


図7 縦線と横線の検出結果
背景画像はオリジナルのNDVI画像

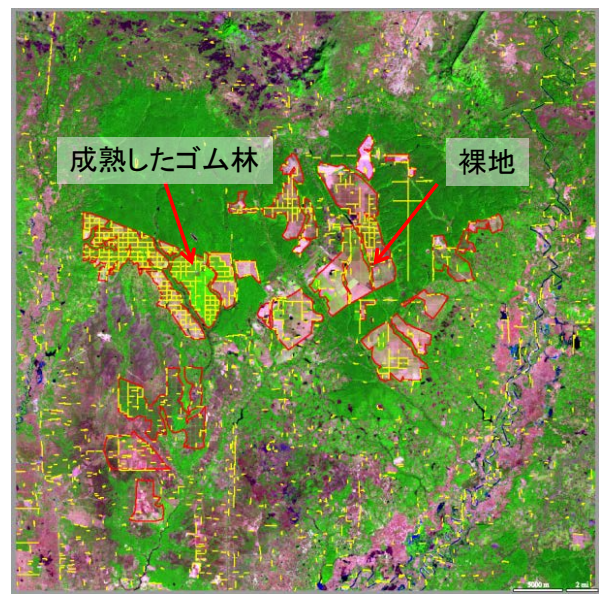


図8 目視判読による大規模森林開発地（赤線）と今回の解析で抽出された道路網（黄色線）

検知できないという問題点があるためフィルタサイズを5とした。またベクタ化する時のみ出し線の除去処理 (remove dangling line) やベクタ化した後、線の長さによるフィルタ処理などによってノイズ処理を行うことができる。今回は予めランドサットの合成画像から大規模開発を判読し、その内部の道路を抽出できるようなパラメータを著者自身の判断により決定した。他の地域への応用や処理の自動化を目指すため、今後、フィルタサイズなどのパラメータを客観的な判断ができるようなアルゴリズム開発が求められる。

一連の処理の結果、ランドサット8号OLIデータから大規模開発地域内の道路網を概ね抽出することができた。詳しく見ると大規模開発地域内の裸地とみられる部分では、道路網が上手く抽出できなかったが、これは開発地と道路のコントラストが不足していたためと推定される。またゴム林内でも抽出できなかったが、これはゴム林が成熟して林冠が閉鎖し、道路を覆って見えなくなったためと考えられる。

今回の対象地で起こっているような森林の大規模開発は、2時期のNDVI画像の差分などから抽出が可能である。しかし、ゴム林のプランテーションの場合、森林の伐採、道路の開設、植栽、成長、成熟して林冠閉鎖という異なるステージの森林がパッチ状に存在することとなり、またカンボジアには季節林が存在するため画像の取得時期によって、植生指数が変動するなど、単純な画像の差分だけでは土地利用状況の変化を把握するのは難しい。こうした中で、本研究により抽出された大規模開発地域の道路網は土地被覆状況を判別する上で有効なデータになり、時系列のランドサット画像を用いた森林変化抽出の精度を高める有効な情報となることが期待される。

熱帯林において道路建設は森林減少の加速する要因とされており (Etter et al. 2006, Miyamoto 2006)、また道路網と森林炭素バイオマスの分布には強い関係がある (Hu et al. 2017) など、道路建設と森林減少の間には強い関係がある。カンボジアでは、過去にインド

ネシアで起きたような道路建設を伴うゴム林などへの転換 (宮本 2003, 2006) が急速に進んでいる。このため、道路建設および森林減少のモニタリングは、森林の適切な保全をする上で重要である。こうした目的に本研究の成果も道路抽出ツールとして利用可能である。

引用文献

- Etter, A., McAlpine, C., Kerrie Wilson, K., Phinn, S., Possingham, H. (2006) Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:369–386
- Hu, X., Zhang, L., Ye, L., Lin, Y., Qiu, R. (2017) Locating spatial variation in the association between road network and forest biomass carbon accumulation. *Ecological Indicators*, 73, 214–223
- Jensen, J. R. (1996) *Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 526pp.
- 岩下 篤・下田 陽久・坂田 俊文 (1992) TM データによるリニアメント抽出能力の定量的評価・写真測量とリモートセンシング 31(5), 22–35
- 宮本 基杖 (2003) 熱帯林の農地転換：人口増加・道路建設・移住事業の影響 —インドネシア・スマトラ島におけるゴム栽培農村の事例—。林業経済研究 49(3), 21–30
- 宮本 基杖 (2006) インドネシア・スマトラ島のゴム栽培農村における熱帯林転換と土地所有格差の関係および格差拡大の要因。日林誌 88(2), 79–86
- Miyamoto, M. (2006) Forest conversion to rubber around Sumatran villages in Indonesia: Comparing the impacts of road construction, transmigration projects and population. *Forest Policy and Economics* 9:1–12
- Tomasi, C. and Manduchi, R. (1998) Bilateral Filtering for Gray and Color Images. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision, Bombay, India*, 839–846

Road network extraction for interpreting large scale forest exploitation

Hideki SAITO¹⁾

Abstract

This study aims to examine the method to extract road network which is an important key for interpreting large scale forest exploitation from satellite data. Study site was selected in the forested area which extends over Kompong Thom and Preah Vihear provinces, Cambodia. Landsat-8 OLI data was used in this study. Edge preservation smoothing filter were apply to NDVI image. Road networks which ran east-west and north-south direction in large scale forest exploitation area were extracted by edge detection and filtering procedures. Road networks in young rubber forest were extracted in large scale forest exploitation area. However, the road networks in bare soil which is immediately after exploitation and in mature rubber forest were not detected by this procedure. The extracted road networks by this study would be used for automatic forest change detection procedure combined with other spectral information such as NDVI difference in further study.

Key words: Cambodia, Plantation, Landsat-8 OLI data, Edge detection

Received 14 November 2016, Accepted 8 March 2017

1) Department of Forest Management, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Department of Forest Management, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan; e-mail: rslsaito@ffpri.affrc.go.jp