

斜面崩壊ハザードマップ構築のための基礎的研究 III

—鹿屋市と鹿児島市を事例とした分光画像解析による崩壊地予測の簡易手法—

福田 真也^{*1}・石川 大太郎^{*2}・有満 重徳^{*3}・山口 晃裕^{*4}
韋 江俊^{*3}・下高 敏彰^{*1}・大場 和彦^{*5}・石黒 悦爾^{*6}

Fundamental Study on Construction of Hazard Map Causing by

Landslide Area III

-Development of Easy Method of Forecasting of Landslide Area
in Kanoya City and Kagoshima City Using the Spectral Image Data-

FUKUDA Shinya, ISHIKAWA Daitaro, ARIMITSU Shigenori, YAMAGUCHI Kosuke
WEI Jiang Jun, SHIMOTAKA Toshiaki, OBA Kazuhiko and ISHIGURO Etsuji

Summary

Landslides on the mountainous area have been increasing in recent years, because of a heavy rain caused by abnormal weather. It is anxious earnestly to solve to construction of hazard map by landslide area. Therefore, we have studied to those problems by the remote sensing technique. It was reported that satellite data and aerial photographs are effective to construction of this hazard map. Comparing these data, digital camera has a following merits, time intervals to take the data, ground resolution, and easy to obtaining data. This study was aimed to make hazard map using digital camera with practical and easy method. Under weather conditions and mountainous slope conditions were differed, the spectral images were taken by digital camera. These images were processed according with water content using ratio index. After these results were overlapped, the possibility of detection of hazardous area was shown.

Keywords : (Characteristics of spectral reflectance, Ratio index, Spectral image,
Distribution of water content in ground, Prediction of hazard area)

1. 緒言

近年、豪雨などの異常気象による斜面崩壊が頻繁に発生している。気象庁では、従来の警報をはるかに超える

現象に対して、特別警報の運用を2013年8月30日から開始し、斜面崩壊などの災害への警戒を呼び掛けている。豪雨における特別警報の基準は、降水量及び土壌雨量指

^{*1} 大学院生

^{*2} 東北大学農学研究科助教

^{*3} 大福コンサルタント株式会社

^{*4} 鹿児島大学

^{*5} 総合情報学部総合情報学科教授

^{*6} 新技術創成研究所客員教授

数であるが、斜面崩壊が発生する場所を予測することは困難である。2013年10月に伊豆大島において、台風26号による豪雨に伴い大規模な土砂災害が発生した。この土砂災害では、伊豆大島は火山地域であり、溶岩に堆積していた火山灰を主体とする表層土が崩壊し、狭い範囲に多くの表層崩壊が集中し、大量の泥流と流木が発生し、大規模な土砂災害となり甚大な被害となった。このような斜面崩壊において、ハザードマップ構築は防災措置を図る上で重要な課題となっている。一般的に斜面崩壊を発生させる要因は、傾斜、土質、地質構造及び降雨などである。局所的な豪雨によって、また土壌水分の変動に関する研究報告の中で、斜面崩壊は山腹の土壌水分変動と密接な関係があることが指摘されている^{1,3)}。そこで筆者らのグループは、土壌含水率が樹冠部の葉内含水率と密接に関係し、しかもモンスーン地帯に属する日本では、土壌含水率が観測時により異なると仮定し、樹冠部の葉内含水率と分光反射特性の関係を実測し、航空写真データならびに人工衛星のLandsat/TMデータを用いて、土壌中の水分の変動による斜面崩壊の検出の可能性について報告している^{4,7)}。

デジタルカメラは人工衛星データや航空写真データと比較して、時間分解能や空間分解能が高く、データ取得が容易である特性を持っている。そこで本研究は、斜面崩壊ハザードマップ構築の基礎的研究として、デジタルカメラの特性を生かして、波長分解能が異なるカラー画像と分光画像の2つの画像を取得し、対象地及び気象条件の違いを踏まえた斜面崩壊地の予測の簡易的な手法について検討したので報告する。

2. 材料および方法

2.1 対象地

鹿児島県の土壌は火山堆積物からなるシラス台地が広く分布しており、土砂災害（がけ崩れ・地すべり・土石流）の発生件数は全国的にみても多く、平成元年から平成20年までの20年間の発生件数は全国1位である。平均すると1年間に90件の土砂災害が発生している状況である⁸⁾。

本研究の対象地は、鹿児島県が土砂災害警戒区域に指定しているエリアを参考に現地調査を行い、斜面がある程度一様に植生に覆われ、さらに斜面のエリアが撮影ポ

イントから近い狭域のケースと遠い広域のケースを考え、データ取得に際して支障がない箇所を選定した。今回、対象地とした鹿児島市小野町と鹿屋市大浦町について図1に現地写真を示す。



図1 対象地写真 左：鹿児島市 右：鹿屋市

2.2 撮影方法

撮影は、以下の方法で行った。デジタルカメラで撮影したカラー画像をRGBに分解する分解画像とデジタルカメラの前面に中心波長が520nm、570nmと660nmのバンドパスフィルター（日本真空光学株式会社製：5cm×5cm）（以降BP）を装着して撮影した分光画像の2つの方法で画像を取得した。波長分解能はそれぞれ30nmである。いずれの場合も、標準白色板を太陽に垂直に設置して、画面の一部に映るようにし、反射エネルギーを反射率に変換できるようにした。また今回、土壌水分の変動による斜面崩壊の抽出を行うため、撮影時期は3ケースとし、また気象の影響による土壌水分の変動も考慮して、気象条件を晴天時と雨天後として撮影を行った。各対象地の撮影日及び気象条件について表1に示す。

表1 各対象地の撮影日及び気象条件

鹿児島市小野町		鹿屋市大浦町	
撮影日	気象条件	撮影日	気象条件
8月15日	晴天時	8月3日	晴天時
8月19日	晴天時	8月8日	雨天後
8月29日	雨天後	9月6日	雨天後

2.3 反射エネルギーから反射率への変換

デジタルカメラで撮影された画像の明暗、すなわち輝度は、対象物からの反射エネルギーに対応する。これらの反射エネルギーは撮影時の太陽照度により大きく依存する。そこで、撮影時の反射エネルギー変動の影響をな

るべく除去するため、標準白色板の輝度を基準とした除算処理を行い、反射率画像を作成した。

2.4 位置補正処理

撮影時期の異なる画像を解析する場合には、位置補正処理を行う必要がある。起伏、家屋の屋根等の識別が容易でしかも撮影時に変化しない基準点(Ground Control Point : GCP)を画像内に万遍なく設定し、ERDAS IMAGINE(ver9.2 Leica Geosystem Co.)を用いて、分光画像の位置補正を行った。

2.5 正規化(地形補正)処理

小野ら⁹⁾は Landsat/TM データを用いて、バンド間演算の手法を用いることで、衛星データに反映される地表面の凹凸等の地形補正がある程度可能であると報告している。この報告の手法をカラー画像ならびに分光画像に適用した。

3. 結果および考察

3.1 反射エネルギー画像と反射率画像

反射エネルギー画像を反射率画像に変換した一例として、鹿児島市において 660nm の BP を用いて撮影した画像を図 2 に示す。植物の葉緑素は 660nm では、光エネルギーを吸収するため、この波長では全体的に暗い画像となることが多い。しかし、反射率に変換したいずれの画像も輝度の変化が大きく、濃淡差が明瞭な画像となった。

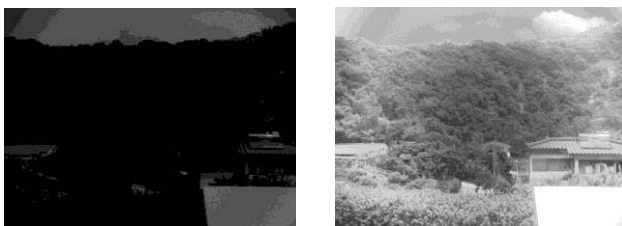


図 2 左：反射エネルギー画像(08/15)
 右：反射率画像(08/15)

3.2 位置補正処理画像

位置補正の一例として、対象地の鹿児島市及び鹿屋市について図 3 と図 4 に示す。補正後はいずれの補正前の画像も、基準画像に対して補正された画像となった。

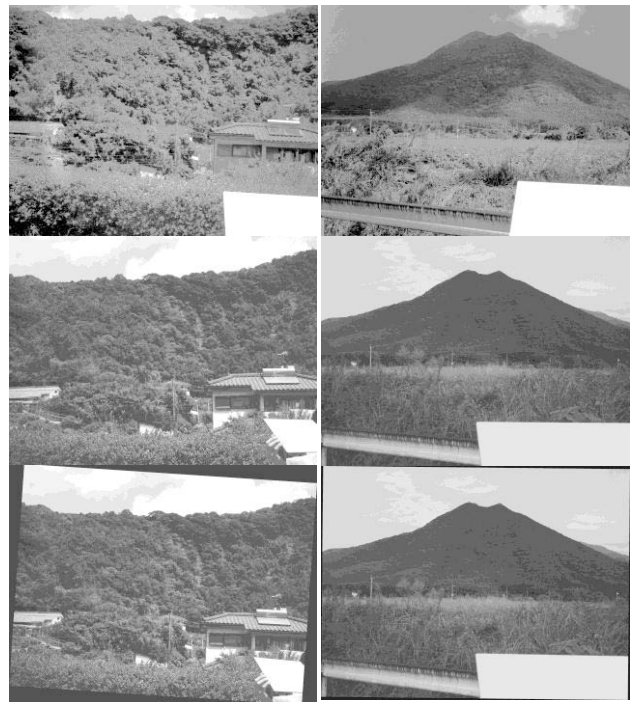


図 3 対象地：鹿児島市

上：基準画像

中：補正前(08/29)

下：補正後(08/29)

図 4 対象地：鹿屋市

上：基準画像

中：補正前(09/06)

下：補正後(09/06)

3.3 指標の検討

スタジイ(*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)は、鹿児島県の山腹で占有率が高い樹種である。石川ら⁴⁾はスタジイの樹木葉の分光反射特性について図 5 のように報告している。400nm から 700nm の可視域では 550nm 付近にわずかなピークが認められた。また 700nm から 1000nm の近赤外域では可視域に比べ高い反射率を示し、含水率による差異が大きいたことが示されていた。

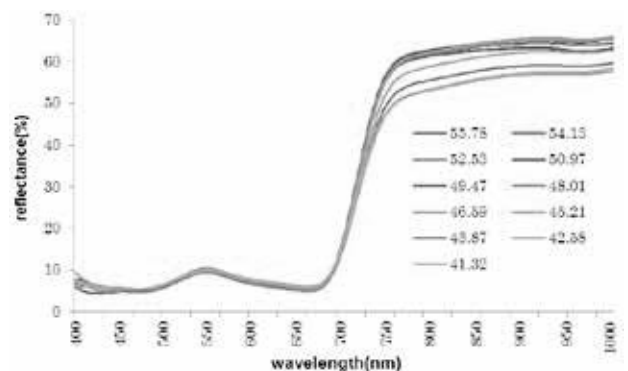


図 5 葉内含水率と分光反射特性曲線

本研究では、樹冠部の葉内含水率の検出について、分解画像と分光画像を用いるため、分解画像は RGB、分光画像は RGB の波長域に対応する画像を用いることを前提とし、以下の式で表示される RI (Ratio Index) を用いて指標の検討を行った。

$$RI_{\text{Green, Red}} = R_{\text{Green}} / R_{\text{Red}}, \quad (1)$$

$$RI_{520,660} = R_{520} / R_{660} \quad (2)$$

ここで(1)式の添字 Green、Red は、カラー画像を RGB に分解した緑、赤の画像を示す。(2)式の添字 520 と 660 は、分光画像の BP の中心波長の値を示す。

図 6 に指標と樹冠部の葉内含水率の関係を示す。カラー画像及び分光画像ともに RI 値は含水率によって指数的に増加し高い相関を示した。よって、RI が樹冠部の葉内含水率推定指標に有効であることが示された。

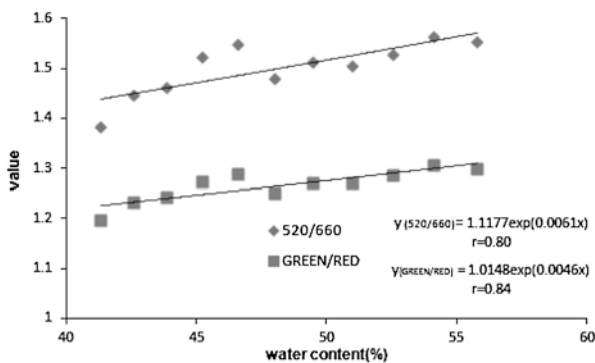


図 6 指標と含水率の関係

3.4 樹冠部の水分分布画像

鹿児島市における 8 月 15 日 (晴天時)、8 月 19 日 (晴天時) 及び 8 月 29 日 (雨天後) に撮影した分光画像



図 7 分光画像による水分分布画像 (対象地: 鹿児島市)
撮影日 左: 08/15 中央: 08/19 右: 08/29

に対して $RI_{520,660}$ を適用して作成した水分分布画像を図 7 に示す。また、同日に撮影した分解画像の R,G の画像に対して、 $RI_{\text{Green, Red}}$ 指標を用いて作成した水分分布画像を図 8 に示す。

また鹿児島市における 8 月 3 日 (晴天時)、8 月 8 日 (雨天後) 及び 9 月 6 日 (雨天後) に撮影した $RI_{520,660}$ を適用して作成した水分分布画像を図 9 に示し、同日に撮影した分解画像の R,G に対して、 $RI_{\text{Green, Red}}$ 指標を用いて作成した水分分布画像を図 10 に示す。各水分分布画像では、輝度の明るい部分が葉内水分の多い場所となる。いずれの画像も山腹の凹凸や繁茂している樹木の葉の影響を受けていることが確認された。

3.5 土壌水分変動率画像

水分分布画像は上述のように、地形等の影響を受けた濃淡画像で表示された。そこで、地形の影響等を軽減し、土壌水分変動域を抽出するために、(3)式に示される土壌水分変動指標を用いた。異なる撮影日の水分分布画像に画像演算処理を行い、水分分布画像の差を求め、無次元化したものである。石川ら⁴⁾と石黒ら⁷⁾の結果を用いて、同様に以下の式で表示される土壌水分変動指標(WCF)を用いた。

$$WCF = (RI_A - RI_B) / RI_A \quad (3)$$

ここで添字 A, B は撮影日時を表す。

鹿児島市における図 7 に示した $RI_{520,660}$ の分光画像による水分分布画像に対して、土壌水分変動を抽出した画像を図 11 に示す。図 8 に示した $RI_{\text{Green, Red}}$ の分解画像による水分分布画像に対して、土壌水分変動を抽出した

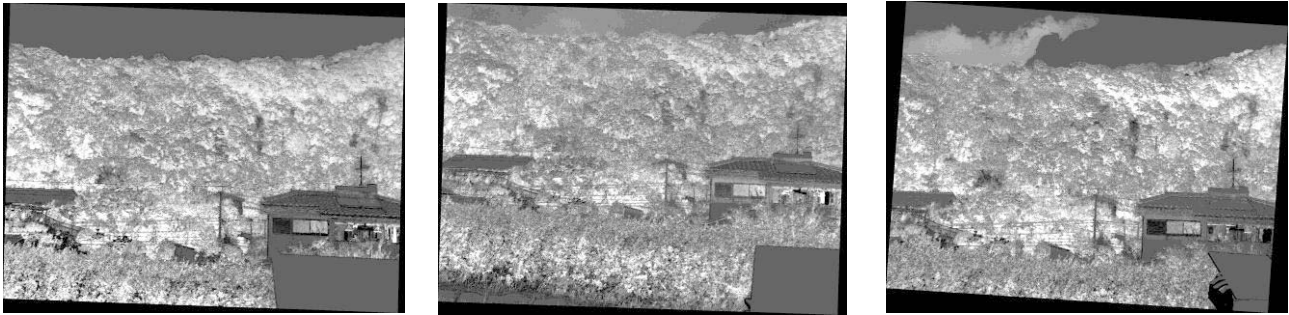


図8 分解画像による水分分布画像（対象地：鹿児島市）

撮影日 左：08/15 中央：08/19 右：08/29



図9 分光画像による水分分布画像（対象地：鹿屋市）

撮影日 左：08/03 中央：08/08 右：09/06

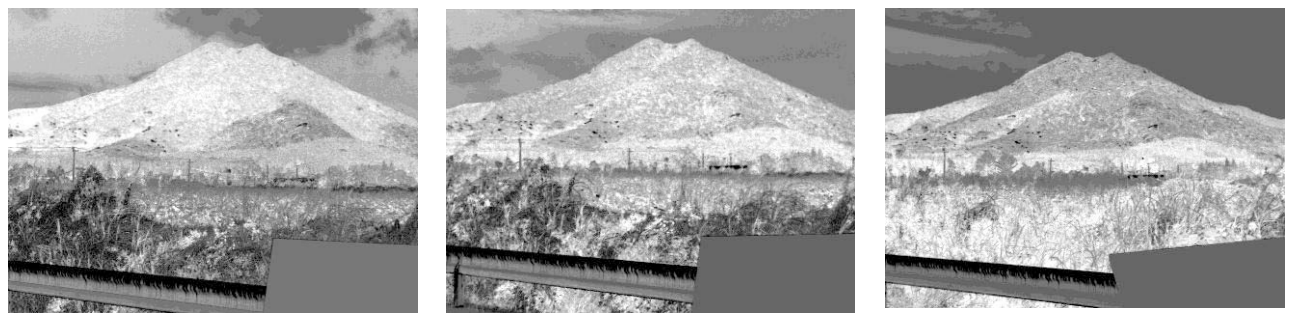


図10 分解画像による水分分布画像（対象地：鹿屋市）

撮影日 左：08/03 中央：08/08 右：09/06

画像を図12に示す。

また鹿屋市における図9に示した $RI_{520, 660}$ の分光画像による水分分布画像に対して、土壌水分変動を抽出した画像を図13に示す。図10に示した $RI_{Green, Red}$ の分解画像による水分分布画像に対して、土壌水分変動を抽出した画像を図14に示す。晴天時と雨天後では、通常、土壌水分が異なることが予測されるが、黒っぽい箇所は土壌水分の変動が少ない箇所を示している。砂漠地以外のモンスーン地帯において、土壌水分の変動が少ない箇所は、平時より水分供給されている状態にあると考えられ、

これらの箇所は他の箇所に比べ、斜面崩壊の可能性が高いと予測される。

3.6 斜面崩壊の危険箇所の抽出

図15と図16に鹿児島市における分光画像及び分解画像、図17と図18に鹿屋市における分光画像及び分解画像の土壌水分変動率画像を用いて、斜面崩壊の危険箇所の抽出したものを示す。これらの画像は、各WCF画像より抽出された最も土壌水分の変動が少ない値 $WCF=0$ 付近で任意の閾値を設定し、それぞれ抽出された箇所を

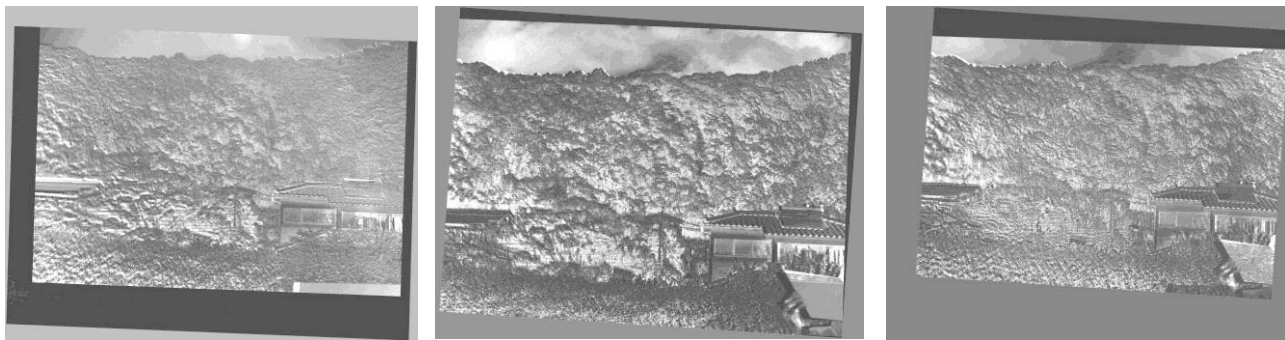


図 11 分光画像による土壌水分変動率画像（対象地：鹿児島市）

撮影日 左：08/15-08/19 中央：08/15-08/29 右：08/19-08/29

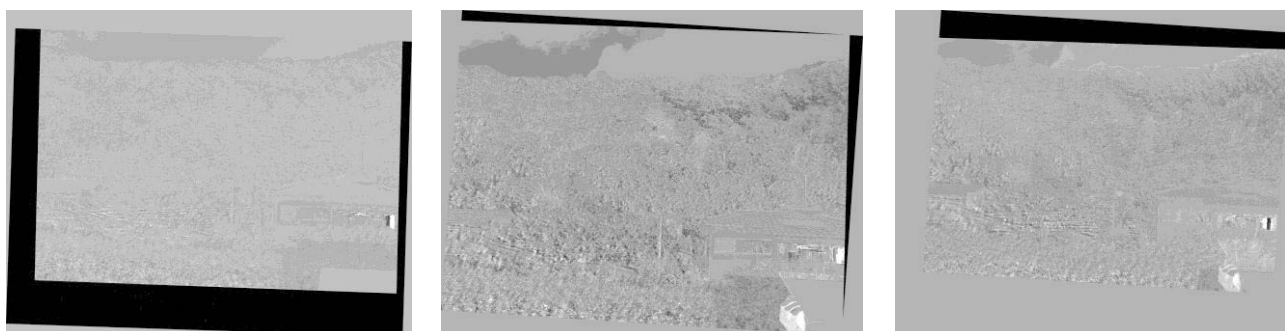


図 12 分解画像による土壌水分変動率画像（対象地：鹿児島市）

撮影日 左：08/15-08/19 中央：08/15-08/29 右：08/19-08/29



図 13 分光画像による土壌水分変動率画像（対象地：鹿屋市）

撮影日 左：08/03-08/08 中央：08/03-09/6 右：08/08-09/06

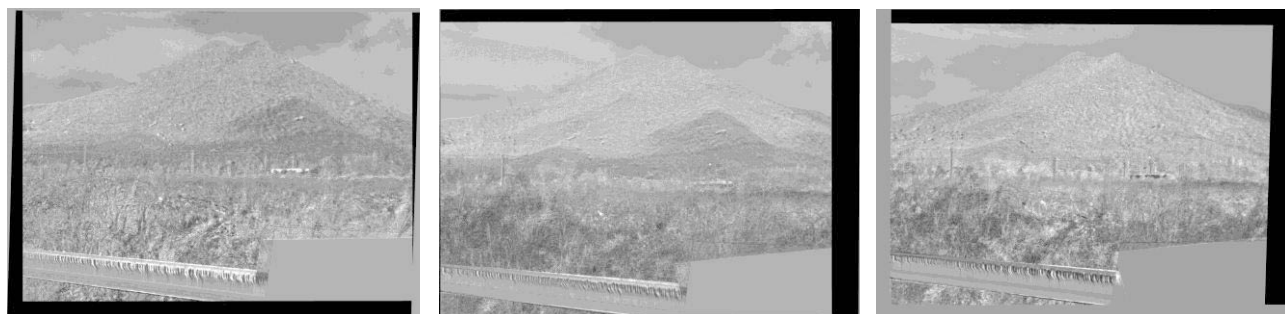


図 14 分解画像による土壌水分変動率画像（対象地：鹿屋市）

撮影日 左：08/03-08/08 中央：08/03-09/6 右：08/08-09/06



図 15 分光画像による斜面崩壊の危険箇所の抽出
(対象地：鹿児島市)



図 16 分解画像による斜面崩壊の危険箇所の抽出
(対象地：鹿児島市)



図 17 分光画像による斜面崩壊の危険箇所の抽出
(対象地：鹿屋市)



図 18 分解画像による斜面崩壊の危険箇所の抽出
(対象地：鹿屋市)

重ねた画像である。また重なる箇所を着色して位置補正後の画像に重ねることで、どの位置に最も土壌水分の変動が少ない箇所、すなわち斜面崩壊の危険性が高い箇所があるかを視覚的に判読しやすくしたものである。狭域の鹿児島市では、分光画像及び分解画像において、同一の危険箇所の抽出が多くみられた。また広域の鹿屋市においても、分光画像及び分解画像に危険箇所の抽出が可能であり、斜面の側面部の一部に危険箇所の抽出が集中している箇所がみられた。

4. 摘要

本研究は、斜面崩壊ハザードマップ構築の基礎的研究

として、データ取得が容易なデジタルカメラを利用し、波長分解能が異なるカラー画像と分光画像解析による簡易的な手法について、異なる対象地及び気象条件の違いを踏まえ、斜面崩壊地の抽出について検討し、以下の結果を得た。

- ① 分解画像及び分光画像において、土壌水分変動率画像を作成し、斜面崩壊地の抽出が可能であった。しかし、分光画像については、バンドパスフィルターの設置の影響のため、撮影の際の光輪が解析結果として現れた。
- ② 対象地の狭域と広域のケースにおいて、広域については、側面部の角度により反射エネルギーが小さく

なり、その結果、土壌水分の変動が実際より小さくなり、斜面崩壊の誤抽出の可能性がある。さらに精度を上げるためには、側面部の正面位置に撮影ポイント移動してデータ取得を行い、解析結果を補正して検証する必要がある。

- ③ 土壌水分変動率の強調画像を作成することで、より斜面崩壊の危険性が高い箇所を視覚的に把握することができる。しかし、今回閾値は任意で設定しているため、今後、閾値の設定法について検討する必要がある。

謝辞

この論文の英文検閲については、環境・建築学部人間環境学科ブライアン・F. バークガフニ教授のお世話になりました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- 1). Kosugi, K., Tsutsumi, D., Mizuyama, T. and Hasegawa, S.: Combined Penetrometer Moisture Probe for Measuring Water Content Distribution in Hillslope. *J. Ero. Control Eng.* 57(3): 3-13 (2004)
- 2). Tanigawa, T., Yabe, K., Fukuda, Y., and Ebi, T.: Effects to vegetation caused by sudden change of groundwater environment. *J. Soil phys.* 73:11-18 (1996)
- 3). Uchijima, Z., and Seino, H.: Agroclimatic evaluation of net primary of natural vegetation (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity. *J. Agric. Meteorol.*, 40 : 343-352(1985)
- 4). 石川 大太郎・湯田 健之・関岡 信一・肥山 浩樹・石黒悦爾：分光反射特性を利用した斜面崩壊地の予測 - 樹冠の水分変動による土壌水分変動域の抽出事例. *農業気象*. 64(2):61-68 (2008/6)
- 5). ISHIGURO E., HIYAMA H., TOGO Y., ISHIKAWA D., NANBA H., and MIYAMA H. : Identifying the Secondary Disaster by the Local Heavy Rain using Remote Sensing Data. *J. Agricultural Meteorology*, 60(5): 889-892 (2005)
- 6). 福田 真也、石川 大太郎、片平 祐介、有満 重徳、灘波 博章、大場 和彦、石黒 悦爾. 斜面崩壊ハザードマップ構築のための基礎的研究：Landsat/TM データを用いた斜面崩壊地予測手法の開発. *Kyushu J. Agric. Meteorol.* II. 21:9-14 (2012)
- 7). 石黒 悦爾・石川 大太郎・福田 真也・山口 晃裕・有満 重徳・韋 江俊・下高 敏彰・大場 和彦：リモートセンシングによる自然災害予測のための基礎研究-樹冠部の葉の含水率の推定手法-. *長崎総合科学大学紀要*, 53:41-50 (2013)
- 8). 鹿児島県：砂防読本. 1-2 私たちの鹿児島県について知ろう！統計データを見よう:pp7-8 (2010/7)
- 9). 小野朗子・藤原 昇・小野厚夫.:Landsat/TM スペクトル値の正規化による地形効果と大気効果の抑制. *日本リモートセンシング学会誌* .22(3):318-327 (2002)