

人工衛星ALOSによる植生指標を用いた 土砂災害危険地区の抽出と 三次元可視化マップの地形表現

寺戸 裕二¹・和田 清²

¹学生会員 (独法)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校専攻科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:2009k03@edu.gifu-nct.ac.jp

²正会員 (独法)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校教授 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

本研究は、広域的かつ短期間の時系列情報が得られる人工衛星ALOS (10m分解能で観測範囲70×70km) を利用し、季節の異なる植生の被覆分布から地すべり危険地区の簡易的な抽出が目的である。解析の結果、抽出した数ヶ所の地区が岐阜県土砂災害情報ポータルサイトの危険箇所と一致していることを確認し、衛星画像から簡易的な方法で植生指標値を用いた危険地区の抽出が可能であることが示された。さらに、3次元可視化マップについては、0.5m分解能である航空写真に比べて、10m分解能であるALOS画像では微地形の表現性が低い結果となり、緻密な3次元可視化マップの表示には、ALOS画像のパンシャープン (2.5m分解能) 以上の解像度が必要であることが指摘された。

Key Words :Space satellite ALOS, vegetation index, sediment disaster, three-dimensional map

1. はじめに

土砂災害は毎年全国各地で数百件から千件以上の規模で発生しており、我々の生活に大きな被害を及ぼしている (図-1.1 参照)。土砂災害の発生場所は様々であり、従来の土砂災害防止工事などのハード対策だけでは、時間や予算が多大なため困難である。そのため、人命や財産を守るために、平成 13 年 4 月に施行された「土砂災害防止法」によりソフト対策の充実が図られている³⁾。実際に岐阜県では、県土整備部砂防課により土砂災害警戒情報ポータルサイトを立ち上げ、危険区域を 4 段階にレベル分けをして一般公開を行っている (図-1.2 参照)。また、岐阜県建設研究センターでも同様に、危険区域を算定するとともに、標高を導入した 3 次元的なハザードマップの作成を行っている。さらに、土砂災害と一概に言っても、災害のパターンは多々あるため、急傾斜・がけ崩れ・土石流の 3 つに分類し、土砂災害としている。その中でも、現在危険区域を指定しハザードマップとして一般公開しているものは、急傾斜の崩壊 (がけ崩れ) を想定した場合であり、「急傾斜地の勾配が 30°以上かつ高さが 5m 以上」という条件のもとで危険区域の算定が実施されている。また、それらの条件に加えて、山地からの家屋の近接性や砂防堰堤の有無などを配慮して、実際の災害時の被害予想を最大限に考慮した危険地区の

設定が地域との調整などを経て行われている。

本研究では、広域的かつ短期間の時系列情報が得られる人工衛星を利用し、勾配や標高という従来使用されている指標だけではなく、急傾斜地の植生の活性度や経年変化といった季節の異なる植生の被覆分布から危険地区を抽出することを目的とする。従来、統合化 GIS で表現する植生状況は、土地利用や森林区分などの大分類によって定量化されたものであり、詳細な植生分布が反映されていない。このため人工衛星の近赤外バンドの画像を利用することによって、より緻密な植生状況が把握できる。このことを利用し、植物の健康状態から活性度を算定するとともに、2 時期で経年変化の大きい区域を抽出して土砂災害警戒情報ポータルサイトの危険区域との対応関係を判定した。さらに、3 次元可視化マップの地形表現をする上で、航空写真よりも安価で連続的な情報が得られる ALOS 画像において、同様のマップの地形表現が可能かについて検討することが第 2 の目的である。

解析にあたって、財団法人リモート・センシング技術センターより 2006 年 5 月 31 日と 2006 年 10 月 16 日の 2 時期の衛星写真を入手した (図-1.3 参照)。解析に用いた衛星は、人工衛星 ALOS (Advanced Land Observing Satellite) であり、他の衛星と比べ 70km×70km と広域的な範囲を分解能 10m の高精度で撮影している。2 時期のデータ変化を抽出するため、できるだけ同じ年のデータ

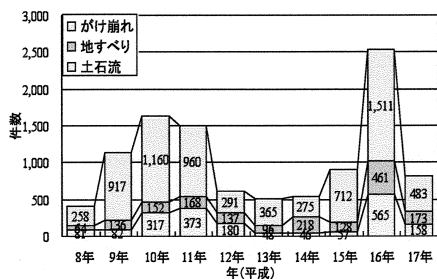


図-1.1 全国の近年の土砂災害被害件数¹⁾



図-12 土砂災害警戒情報ポータルサイト（大垣市西地区）²⁾

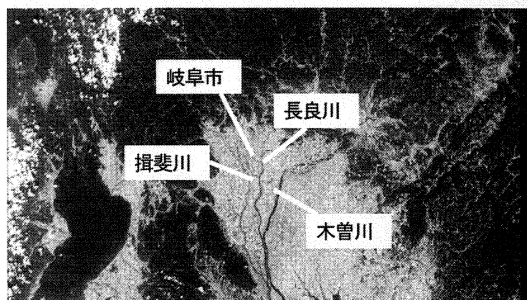


図-1.3 ALOS 画像(5月)

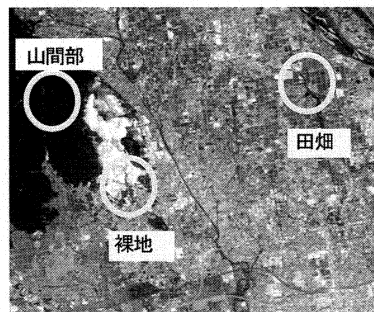


図-2.1 解析対象箇所

が必要である。しかし、衛星画像は雲量による影響が大きく、画像上に多く雲が存在する場合がある。これらのことを考慮し、そのなかでも比較的雲量が少なく（雲量 $\leq 30\%$ ）対象領域に雲量を含まず、植生の季節的変化が生じると考えられる春季と秋季のデータを入手した。また、本研究の対象地域は、過去に土砂災害が発生し土砂災害警戒情報ポータルサイトの危険区域が点在した岐阜県を流れる揖斐川流域、牧田川流域内の市町村とした。

2. 研究方法

(1) remote10を用いた植生指標の算定

2時期の衛星画像を利用し、財団法人リモート・センシング技術センターが提供している簡易的なソフト remote10を用いて植生指標値の算定を行う。remote10では、画像の合成やヒストグラムの表示、植生指標の算定といった解析が行える。本研究の解析では、これらの基本的な操作から植生の状況を把握し、最終的に植生指標を算定する。その解析対象地区として、図-2.1に示すように、衛星画像の中に裸地、山地、田畑などの土地被覆状況が異なる大垣市金生山付近（牧田川流域）とした。その方法は以下のである。まず、カラー合成手法を用いて、トゥルーカラー画像、ナチュラルカラー画像、フォーラスカラー画像の3つの合成画像を作成することにより植生の表示を強調させ、2時期のデータの違いを目視で把握する。次に、輝度ヒストグラムの表示を行う。ALOS

データは8ビットデータであり、0～255の256階調のデジタル値として記録されている。しかし、0～255全てのレンジを利用しているわけではないため、ヒストグラムの表示によってデータが実在するデジタル値の範囲を吟味し、このヒストグラムを利用して、裸地・山地・田畑でそれぞれの輝度値の違いから土地被覆状況を明瞭にする。

土地被覆状態を調べた後、輝度値を用いて植生指標値 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を算定する。remote10ではNDVI値を輝度値に割り振るため、0から255までの整数値に正規化される。また植生指標を算定するにあたり、植物は近赤外領域（0.8～0.9 μm ）において大きな反射を示す。また、近赤外領域において植物の中でも健康状態がよいものほど大きな反射を示す。可視領域での反射は近赤外バンドに比べ低く、植物の健康状況による反射の差も少ない。以上のことから、近赤外バンドと可視バンドを用いることで、植生指標値（活性度）を求める。具体的な手法として、衛星画像の近赤外バンド（バンド4）と可視バンド（バンド3）を利用し、その比を求めることで、観測地域の植物の健康状態だけを規格化した数値すなわち植生指標の値を、以下の式（1）により算定した⁴⁾。

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{vis}}{R_{nir} + R_{vis}} \quad (1)$$

ただし、NDVI：植生指標値、

R_{nir} ：近赤外バンド値、 R_{vis} ：可視バンド値である。

(2) GISを用いた植生指標の算定

2.1 節で算定した **remote10** を用いた植生指標値は、輝度値と同じ 256 階調に指標値を割り当てたものである。**remote10** では植生指標地(活性度)を把握することができるが、データの重ね合わせや差分をとるのが困難である。そのため演算式を用いて解析できる GIS ソフト(**ArcGIS**)を用いて同様に植生指標値を求める。**ArcGIS** ツールの中のラスタ演算を用いて、植生指標値の算定を行うためには、画像ファイルを互換する必要であり、次のような手順で行った。CD の媒体に記録されている **ALOS** データは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)により提供される衛星データの標準的なフォーマットである **CEOS** フォーマットで格納されている。そのため、提供元が同じである **remote10** では解析を行うことができるが、一般的なソフトではファイルを開くことが困難であるため、画像表示をすることが容易ではない。そこで **ArcGIS** 上で衛星画像を表示させるため、植生指標値を算定するために用いるバンド 3 とバンド 4 のデータを **photo-shop** を用いてファイル形式の変換を行い、画像表示させる。変換するのに際して、**bmp** や **jpg** 形式では **ArcGIS** で表示させると、**RGB** カラーが自動的に分けられ、複合カラー表示になるため、データの編集が行えない。そのため白黒の単一色画像で保存する必要がある。白黒画像で保存される **gif** 形式を用いた。**remote10** では植生指標値を輝度値に割り当て表示していたため 0~256 と表示の幅が広がったが、GIS 上で指標化を行うことにより、植生指標値を±1 の間で正規化することが可能となり、簡便な表示とすることができる。

(3) 土砂災害危険地区の抽出

2.2 節の **ArcGIS** による植生指標値の算定を揖斐川流域

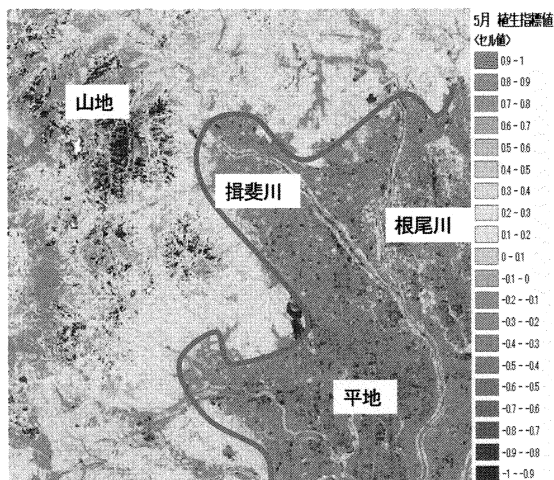


図-22 植生指標と山地と平地の変曲点

および牧田川流域の範囲で解析し、その結果を図-22 に示すような画像(大領域)で表示し、5月と10月の2時期の画像演算処理結果の比較を行った。また、特に地すべりが発生すると考えられる山間部と平野部の境目領域の地形変曲点付近において、植生指標値の差が大きい箇所を抽出した。経年変化の大きい地区の抽出方法として、5月から10月もしくは10月から5月の植生指標値の変化が大きい地区に着目して解析を行った。

この方法により抽出した地区(小領域)を中心とした画像を再度作成する。そこにラスタ演算処理を行い、2時期の画像間で差分や重ね合わせなどを行って2時期でどの程度植生指標に差異が生じているかを調べた。それと同時に、植生の反射特性をよく示すバンド4を用いて、輝度ヒストグラムの作成を行い、抽出した地区(小領域)の植種(樹木帯などを含む)との対応関係も吟味した。これらのことを踏まえて、抽出した地区と土砂災害危険地区の関連性を検討するために、岐阜県土砂災害警戒情報ポータルサイトで指定した危険地区とのマッチングを行った。これらの作業により植生の活性度という指標が土砂災害ポテンシャルの高い地区との関係性に着目して検討した。ただし、土砂災害警戒ポータルの危険箇所は、算定式などにより機械的に算出した危険箇所(法指定は行われておらず、県として危険な箇所と認識している地区)、基礎調査後、地元との調整などを行った後、初めて土砂災害警戒区域として法指定場合などを含むために、同ポータルの危険箇所は、岐阜県が指定した危険区域とは一致しない場合があることを付記する。

(4) 3次元可視化マップの地形表現

衛星画像を用いて、ハザードマップや土地利用状態を3次元的に俯瞰した可視化マップを作成し、その解像度

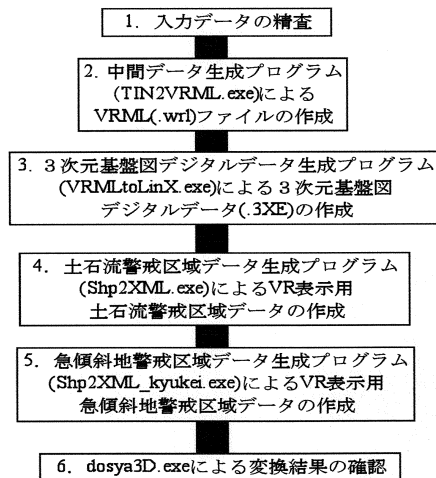


図-23 VR 取り込み作業フローチャート

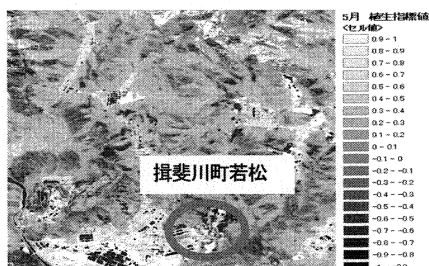


図-31 5月植生指標

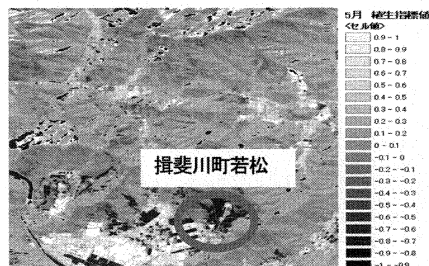


図-32 10月植生指標

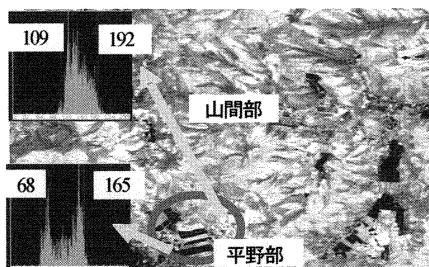


図-33 5月輝度ヒストグラム(バンド4)

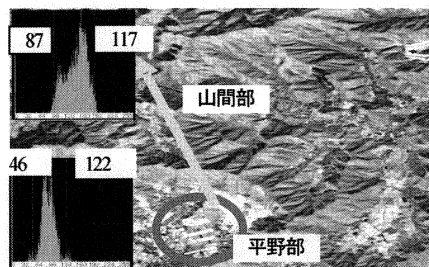


図-34 10月輝度ヒストグラム(バンド4)

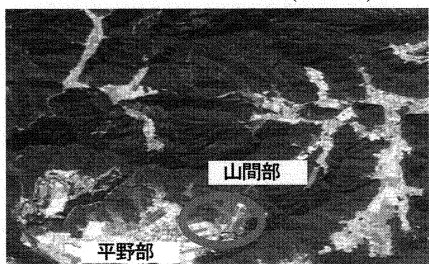


図-35 ツールカラー画像

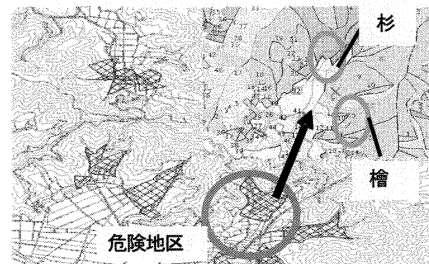


図-36 危険地区と樹種の表示

と微地形の表現性を検討した。手順としては、ALOS 画像および財団法人岐阜県建設研究センターより入手した砂防基盤図 (TIN データ : x, y, z 方向の空間情報) をソフトウェア (砂防 VR) に取り込むことにより、ALOS 画像を 3 次元的に表示させる。その作成方法は以下のようである。

まず、ALOS 画像を jpg の画像形式に変換するために photoshop 上で処理を行った。また、ALOS 画像はバンド 1~4 までの各バンド毎にデータが収納されているため、バンド 3, 2, 1 の順に R(赤), G(緑), B(青)を割り当て実写に近いツールカラー合成画像を作成する (後述、図-35 参照)。photoshop で画像を合成すると緯度経度の座標値が無効になるために、作成した画像に座標を付加させる必要があり、(独法)統計センターより日本測地系平面直角座標系の shape ファイルを入手し、ArcGIS 上で表示させ作成した画像の座標値を一致させる。その後、作成した画像を砂防 VR に取り込むために規定のサイズである 5000 図郭 (400×300 ピクセル) に切り出す。そして、作成した画像データと x,y,z の 3 方向の空間情報を

もった TIN データを砂防 VR に取り込むことにより、3 次元的可視化マップを作成する。なお、砂防 VR に取り込むにも複雑な作業手順が必要になるために、その処理過程を図-23 に示す。

3. 結果および考察

(1) 植生の活性度分布による土砂災害危険地区の抽出

式 (1) に示した植生指標値を ± 1 の範囲で表示させた。この式は植生の活性度を示すもので、値がマイナスになると植物の健康状態が悪かったり、植生の被覆量が少ないことを表している。最終的に -1 になると、バンド 4 の反射がないため植生が存在しないことを示す。この植生指標値 (活性度) を用いて解析した結果、5月と10月の2時期で特に活性度の変化の大きかった揖斐川町若松と垂井町敷原の2地区の結果を、図-31~36 (若松)、図-37~311 (敷原) に示した。同図には、対象地区の2時期の植生指標、輝度ヒストグラム、土砂災害情報ポータル危険箇所、植種 (樹木類) の分布図が併記されて



図-3.7 5月植生指標

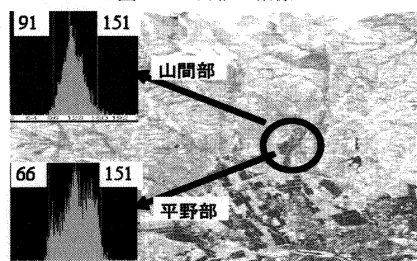


図-3.9 5月輝度ヒストグラム(バンド4)



図-3.11 トゥルーカラー画像(垂井町敷原)

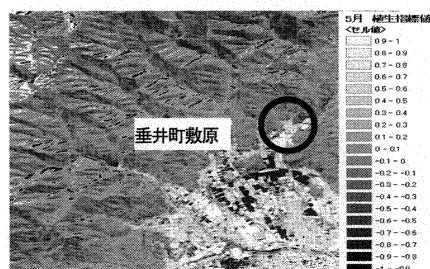


図-3.8 10月植生指標

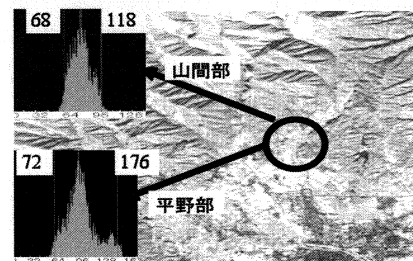


図-3.10 10月輝度ヒストグラム(バンド4)

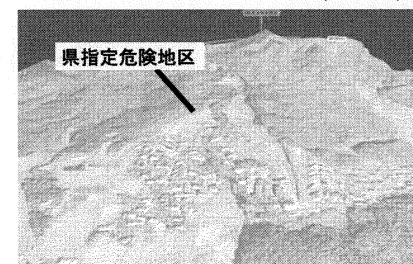


図-3.12 3次元的可視化マップ(垂井町梅谷)

いる。なお、図-3.5はトゥルーカラー合成画像である。

図-3.1および3.2から、揖斐川町若松では、新緑の季節である5月の方が活性度が高いことがわかる。実際に、土砂災害に関係のある地形の変曲点における2時期の植生の活性度には、0.5程度の差が生じていることがわかった。また、図-3.3および3.4に示すように、山間部と平野部の輝度ヒストグラムの形状に差異が見られる。山間部の輝度ヒストグラムは、主として樹林帯（主に針葉樹）の影響を強く受けているものと考えられ、また、平野部については、輝度ヒストグラムの下限値がより小さくなること、5月においてヒストグラムが双峰化して、10月には単峰化することなどから、水田や畑などの農業作物の影響を受けているものと想定される。

以上のように、輝度値でも5月と10月で差異があり、植生指標値に大きな差異がある地域は、一年を通して安定した植生分布を示さないため、土砂災害の影響があるのではないかと考えられる。実際に県が作成している土砂災害警戒情報ポータルサイトとの対応関係を調べたところ、図-3.6に示すように揖斐川町若松は危険地区に指定されていることがわかった。また、揖斐川町若松の山

地と平地の変曲点において樹林帯を調べた結果、同図に併記したように杉と檜などが多く分布していた。これらは針葉樹林であり根を深く張らない性質があるため、保水力は低く土砂災害時に対する影響が大きい樹林であると言われている。さらに、同様な条件で抽出した垂井町敷原の解析結果を示す。揖斐川町若松と同様に、図-3.7および3.8に示すように、5月の方が10月よりも植生指標値（活性度）が高く、図-3.9および3.10ではバンド4の輝度値は5月の方が高い結果となった。また、県が作成している土砂災害警戒情報ポータルサイトで調べた結果、垂井町敷原も危険地区に指定されていた（図-3.11参照）。

以上のように、異なる2地区（揖斐川町若松および垂井町敷原）において、岐阜県土砂災害警戒情報ポータルサイトの危険箇所と一致するという同様の結果が得られたことから、5月と10月の2時期で植物の活性度の変化が大きく生じていること、また輝度ヒストグラムのレンジに差異が生じている地区を抽出することで、植生の活性度と土砂災害危険地区の関連性を見出すことができた。このように、植生指標値は土砂災害危険地区を抽出する簡易的な指標であることが示唆された。

(2)3次元可視化マップの地形表現

3 次元的可視化マップについては、2 時期の可視化マップを作成し、目視による比較を試みたが、ALOS の 10m 分解能では微地形の表現性が低い結果となった。photoshop で作成したトゥルーカラー画像や切り出しの過程で、すでに画像が荒く表示されていたため、10m 分解能である ALOS 画像では微地形の表現は困難であるといえる。そのため、分解能 50cm である航空写真を用いたところ、図-3.12 (垂井町梅谷) のように複雑な起伏をもち、ALOS 画像に比べて高画質な 3 次元可視化マップが作成された。なお、同図は垂井町敷原に隣接した梅谷地区の表示である。この地区データはサンプルデータ (座標値が未整合) であるが、3 次元的可視化マップ上に危険地区の立体的な表示が可能であり、対象領域周辺を俯瞰的に眺めることができ、ハザードマップなどに活用できることが確認された。

以上のことから、3 次元的にマップを表示し、ハザードマップなどに適用するには、ある程度の分解能が必要となる。ALOS 画像の中には分解能 2.5m のパンシャープン画像がある。ALOS 画像の利点は、航空写真に比べ広範囲かつ短期間の時系列画像を安価に入手できる点である。そのため、分解能 2.5m の 3 次元的可視化マップの作成は、地形表現の補完的な価値があると考えられる。

4. おわりに

本研究は、広域のかつ短期間の時系列情報が得られる人工衛星ALOS (分解能10m, 観測範囲70×70km) を利用し、季節の異なる植生の被覆分布から地すべり危険地区の抽出を行い、県の公開データとの対応関係を明らかにすること、さらに、3次元可視化マップの作成において、航空写真との比較によりALOS画像の地形表現性について検討した。また2時期のデータから、特に地すべりが発生しやすいと考えられる山地と平地の境界地で植生指

標値に大きな差がある地域を抽出し、差分や重ね合わせなどの演算処理後、危険地区の抽出を行った。

本研究により、以下の点が明らかにされた。危険地区の抽出において、山地と平地の変曲値において2時期の植生指標値の差分をとり、その差が大きく生じている地域を抽出した結果、垂井町敷原、揖斐川町若松の2地域において、岐阜県土砂災害警戒情報ポータルサイトで指定した危険地区と一致した。このことから、衛星画像を用いた植生指標値を用いた簡易的な方法により危険地区の抽出が可能であることが示された。また、3次元可視化マップについては、分解能0.5mの航空写真に比べて分解能10mであるALOS画像では、微地形の表現性が低い結果となった。なお、ALOS画像のパンシャープ (2.5m 分解能) を用いることにより改善されることが明らかにされた。今後、人工衛星ALOSと統合化GISを複合的に用いることで、ソフト的支援と総合的な対策の充実を図る可能性が示唆された。

謝辞：本研究の遂行に関して、様々なデータ提供および3次元可視化マップの作成過程について丁寧な指導をいただいた (財) 岐阜県建設研究センター、ふるさと地理情報センターの馬淵洋介氏、西川直樹氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人全国治水砂防協会：SABONET STATION
(<http://www.sabo.or.jp/saigai/2004saigai/2004saigai-2.htm>)
- 2) 岐阜県県土整備部砂防課：土砂災害警戒情報ポータルサイト
(<http://alert.sabo.pref.gifu.lg.jp>)
- 3) 芦田和男他：21 世紀の河川学，京都大学学術出版会，pp.95-102，2008.
- 4) 社団法人日本測量協会・日本リモートセンシング研究会編：図解リモートセンシング，pp.1-19，p.242，1992.

EXTRACTION OF SEDIMENT DISASTER DISTRICT RELATED TO VEGETATION INDEX USING SPACE SATELLITE ALOS AND THREE DIMENSIONAL MAPPING

Yuji TERADO and Kiyoshi WADA

The present study aims at the extraction of a landslide dangerous district from the coating distribution of vegetation with a different season by using space satellite ALOS. As a result of the analysis, the extracted district was corresponding to the dangerous district that the Gifu prefecture was specifying. It was shown to be able to extract a dangerous district by using the vegetation index value from the satellite image. The expression of the micro topography became a low result in the ALOS image compared with the aero photograph. The resolution more than the PANSHAPUN in ALOS image is necessary for the display of a three-dimensional map.