

衛星画像立体表示による災害地形と植生の検討

STUDIES ON DISASTER-RELATED GEOMORPHOLOGY AND VEGETATION

USING SATELLITE 3D IMAGES

木下 紀正¹・富岡 乃夫也²・戸越浩嗣³

Kisei KINOSHITA, Nobuya TOMIOKA and Hirotsugu TOGOSHI

¹ 鹿児島大学 産学官連携推進機構 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

kisei@rdc.kagoshima-u.ac.jp

² 鹿児島市学習情報センター (〒890-0816 鹿児島市山下町 6-1)

n_tomi912@ybb.ne.jp

³ 川辺町立大丸小学校 (〒897-0131 鹿児島県川辺郡川辺町上山田 7607)

t-hiro@po4.synapse.ne.jp

Key Words: natural disaster, pyroclastic flow, landslide, Landsat, near-infrared image

1. はじめに

Landsat, Spot, ASTER, ALOS など地球観測衛星データの特徴は、限られた観測日ながら瞬時に広域の調査ができることや、数カ月での変化のデータが得られ、災害前との比較を長期にわたって行えることである。自然災害の研究では災害直後の現地調査の写真や航空写真が個々の詳細な状況を明らかにし、その積み上げによって全体像が浮かび上がるのに対し、衛星データは現場写真に劣る空間分解能ながら、広域の状況をつかむことができるという相補の関係にある。また、可視・赤外領域にわたるスペクトルデータは、写真や人間の視覚認識を超えた独自の情報を提供する。さらに、衛星画像データと数値標高データを結合した立体表示である 3D 衛星画像によって、地形と土地被覆状態について臨場感のあるイメージを得る事が出来る。これは自然災害の研究や説明資料として役立つと考えられる。自然災害対策については行政担当者の理解促進や住民に対する啓発活動・学校や社会教育での防災教育が重要であるが、3D 衛星画像は解りやすい説明資料の一部として、防災マップやパンフレット・説明会用プレゼンテーションなどの中で活用することが期待される。

ここでは、2000年9月以来インターネット上で公開している教育用衛星画像表示システム SiPSE (Satellite image presentation system for education, 現在 <http://sipse.edu.kagoshima-u.ac.jp/sipse/>) による 3D 衛星画像の概要を述べ、自然災害研究や防災教育資料などにおける活用の可能性や、関連した他のサイトとの比較について考察する。

2. SiPSE による 3D 衛星画像

(1) 衛星画像表示システム開発の経緯

1996年7月、鹿児島県下の大学・研究機関の研究者・院生・学生による衛星画像ネットワーク鹿児島グループ SiNG-Kagoshima (Satellite Image Network Group in Kagoshima, 現在 <http://arist.edu.kagoshima-u.ac.jp/sing/>) のホームページが開設された¹⁾。内容は「一般向け」と「教育用」からなり、「一般向け」は各種衛星の処理画像に解説を付けて公開し、火山と噴煙・地震・豪雨災害等さまざまなテーマについて見る事ができる²⁾。「教育利用」のページでは、LANDSAT/TM データを教育用に扱いやすくした SiNG データとして提供して来た³⁾。データ提供範囲は鹿児島県から出発し、1999年までには九州全土と沖縄に広がった。

その後、衛星画像と国土地理院による数値標高データを結合して三次元動画表示が可能なシステムを開発し⁴⁾、2000年8月、SiPSE システムとして宇宙開発事業団等主催の「地球観測フェア 2000」に出展した。同年9月、この機能を「教育利用」のページに組み込み SiPSE ホームページとして独立させ、インターネットによる提供を九州・沖縄と伊豆諸島について開始した。2001年には無人島の幾つかを除く日本全土について、衛星画像データと数値標高データを結合した SiPSE データを提供するに到った。さらに、2005年春には多くの適用事例を盛り込んだ解説書を出版した⁵⁾。他方、公開システムの充実と平行して、海底地形を含めた立体表示など様々な機能を含むオフラインシステムの研究開発を進めている⁶⁾。

(2) SiPSE データの概要

衛星画像データとして、宇宙開発事業団（現宇宙航空研究開発機構）地球観測センターで受信処理した Landsat-5 号（1984 年～2002 年）の TM センサーデータを加工して提供している。原データは、少し西に偏った南行軌道で 185km の走査幅の観測結果を幾何補正した南北 170 km のフルシーンの単位でリモートセンシング技術センターを通して入手出来る。各地域は 16 日周期の観測であるが、雲や積雪の殆どないフルシーンを選ぶには長期にわたるデータ蓄積が必要である。空間分解能 28.5m の Landsat-5/TM データを採用したのは、他の地球観測衛星に比べ広域のフルシーンデータが最も長期間蓄積されているからである。また、青緑赤の 3 色に対応する TM1, 2, 3 のバンドがあるのも、この衛星センサーの利点である。

7 バンドの TM データのうち、SiPSE データではバンド 1～4（B, G, R, 近赤外）を各 256 階調から 16 階調に簡略化してファイルのサイズを小さくし、さらにデータ圧縮して提供している。16 階調に落したデータでも、視覚的に画像の劣化は目立たない。後で示すように、TM4 の近赤外データは、水域の識別や土地の起伏・植生状態の検討に有用である。これは SiNG データの仕様³⁾を引き継いだものであるが、地表の熱放射を示すバンド 6 は省略した。

数値標高データは、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ（標高）日本 I～III を用いた。解像度は約 50m 間隔（正確には、1 データが緯度 1.5" 経度 2.25" 間隔）であるから、より詳しい TM データを基準に、Bilinear 方式で内挿した。標高ファイルは、海面を 0m にして 2byte の binary data にしてから圧縮して SiPSE データの一部として提供している。なお、2000 年以前までは TM 原データは上下方向を南北方向に合わせる回転処理が必要であった。

(3) SiPSE の使用法

ユーザはインターネットの WWW ページで登録を行ってから、マウス操作によって希望する地域の SiPSE データ（衛星画像・標高データ）をフルデータのシーンから切り出してダウンロードすることができる。閲覧には、専用の SiPSE データビューアを用いて簡単な操作で立体表示が可能である。ビューア及び SiPSE データは、非営利目的で自由に活用できるようにホームページ上で無償公開している。パソコンで高速 3 次元表示を実現するため、始めの仕様では切り出せるサイズを 512Pixels × 512Lines に固定し、縮尺は間引き率を選択して変更可能にした。最高解像度では正方形の 1 辺が約 15km の領域となり、解像度を落せば 30km から 90km の領域も選択できる。最近のコンピュータ性能の向上に対応して、解説書購読者のユーザは 1024Pixels × 1024Lines のサイズでも切り出し可能にしたので、1 辺が最高解像度で 30km、最大範囲で 180km の間で選択できる。

SiPSE データとそのビューアを自分のパソコンのハードディスクに保存すれば、オフラインでの使用が出来る。ダウンロードするデータ数についての制限はない。3 次元動画表示のために、Windows 98SE/ME/2000/XP では Microsoft Direct X 6.0 ランタイム以上が標準で組み込まれているが、Windows 95 や自作パソコンでは組み込む必要がある。Macintosh には対応していないが、適当な Windows Emulator のもとで動作可能である。

SiPSE データビューアでは、1～4 の単バンド表示のほか、青緑赤の 3 色に バンド 1, 2, 3 を対応させた true-color 画像と、バンド 2 と 4 の和を緑色に対応するよう修正した画像を土地被覆状態の表現として選択できる。この修正では緑地がより鮮明になる表現が得られる。3D 表示では、ボタン操作で倍率や視点を自由に変更したり、標高の強調表示をしたりすることが可能であり、動画表示を静止に切り換えて Jpeg 方式で保存すれば、様々な静止画の利用が可能となる。その他、具体的な使用方法については解説書に詳しく述べている⁵⁾。

(4) 研究用オフラインシステム

オンラインシステムでは、仕様を変えないで安定した運用をするために、フルシーン毎に一律に調製した輝度値を用いているが、切り出した一部で最適とは限らない。また、別々のフルシーンをつないだものが使えない。これらの制約を受けず、原データを用いた研究用オフラインシステムの開発を行って来た⁹⁾。ここでは立体表示ビューアの機能開発として、爆発噴煙の高度評価のための立体視における鉛直スケールの導入、温室効果による影響の検討のため数mの海面上昇効果の導入などを進めた。また、原データのフルシーン幾つかを接続した広域データの作成、標高データと海底地形との接続、及びそれを取り扱うビューアの開発を行った。

オフラインシステムの出力としては、3D 動画表示のための切出しファイルと、Quick Look 画像をつくり、専用ビューアとともに CD-R などで配布する形で共同研究などに用いている。

3. 火山地形と植生への適用

(1) 火山防災マップと 3D 衛星画像

火山災害に備えるには日常から住民啓発活動を進め、緊急事態には観光客など訪問者も含めた迅速適切な避難誘導を行うことが必要である。その為の基礎資料としての火山ハザードマップあるいは火山防災地図とよばれるものが全国的に整備されつつある⁷⁾⁹⁾。その内容として、予知が困難な噴火の規模や形態をどう設定するか、各種防災情報をどのように盛り込むか、分かり易さと詳しさを如何にバランスさせるかなどについて多くの議論がある。

火山防災マップとして多くの情報が平面図上に書き込まれるのは、限られたスペースの中で正確な水平距離と方位を示すために当然であるが、高低差をつかむ読図の能力には個人差が大きく、非専門家は不慣れな場合が多い。航空写真・鳥瞰図・コンピュータグラフィックによる斜方視の図などは、日頃見慣れた地上からの風景と平面図との対応をつけるのに役立つ。3D衛星画像は、実在感のある立体表示として防災マップの説明資料などで活用を進めることが期待される。

SIPSEによる3D衛星画像は、スムーズな動画や、見る向きと俯角を調整しての静止画によって火山地形と植生を理解するのに適している。地形については、火山地帯やカルデラ湖などの広域の鮮明な画像を容易に得られる。また、空間分解能は限界があるが、火口の形態や山体崩壊のあと・カルデラ壁などをかなり表現することが出来る。降灰・火山ガスの影響や山体崩壊・火砕流の跡などのため植生の乏しい状態は、近赤外画像の立体表示によって把握できる。近赤外の濃淡画像は、そのままモノクロ印刷できることは大きな利点である。これまで、日本の代表的火山¹⁰⁾・西日本の全ての活火山¹¹⁾・北海道南西部の活火山¹²⁾について立体画像集を作成した。また、解説⁹⁾や報告⁹⁾の中で多くの火山を取り上げた。火山の素晴らしい景観は、火山の恵みの一つとして火山との共生の中で位置づけられることも留意すべきである。

(2) 雲仙火山

1990年11月の噴火に始まった雲仙普賢岳の活動は、1991年5月下旬に溶岩ドームが出現して火砕流が発生し、6月3日には多数の犠牲者を出すに到った。さらに、

激しい火砕流やその堆積物の雨による土石流が頻発して、多くの住民が1995年始めまで長期の避難生活を強いられた。

これまで、衛星画像を用いた噴火活動の植生への影響¹³⁾・溶岩ドームと火砕流の温度評価¹⁴⁾、噴煙の検出など¹⁵⁾様々な検討がなされた。これらの結果を3D衛星画像に投影すれば、より分かりやすい表現が得られると思われる。

南の一部を除く島原半島の1998年10月4日のLandsat画像を図-1に示す。噴火活動が終息して3年後であるが、普賢岳の溶岩ドームと東斜面の火砕流路が図-1(a)のtrue-color画像で良く判る。また、その下流の扇状地を土石流が水無川の流路から外れてまっすぐ走った跡も高輝度で表されている。図-1(b)の近赤外画像では、太陽光の陰影で東西方向の断層群の谷が平行しているのが良く判り、中でも日本有数の断層地形である千々石断層は際立っている。この時期、森林の植生はかなり回復していることが2つの画像から推測される。溶岩ドームと火砕流堆積物および土石流の跡は植生に乏しいことが、近赤外画像が低輝度であることから判る。他方、近赤外画像から、火砕流路の斜面では植生の回復が始まっていると思われる。これらの点については、図-2・図-3の立体表示によって、地形との関係をより正確につかむ事が出来る。

図-2はtrue-color画像の立体表示で、図-3は近赤外画像の立体表示である。但し図-2(a)は図-1(a)の範囲を、その他は1辺がその半分の範囲を立体表示したものである。これらから半島中央の雲仙火山群と、島原市街地の背後にある眉山などの立体的関係が分かる。山頂部の東に開いた馬蹄形火口と、その中で普賢岳が溶岩ドームと

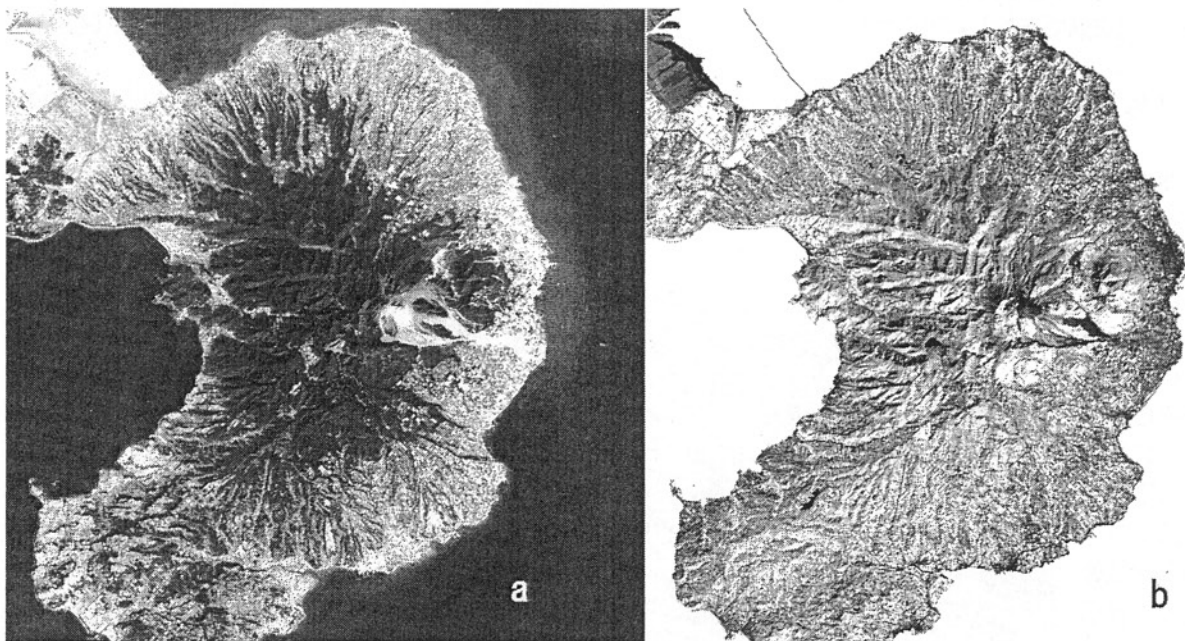


図-1. 島原半島のLandsat画像(1998年10月4日. 一辺は1024pixel, 29.2km).
(a) true-color画像, (b) 近赤外画像(海岸線を明瞭にするため海域は白色に置換).

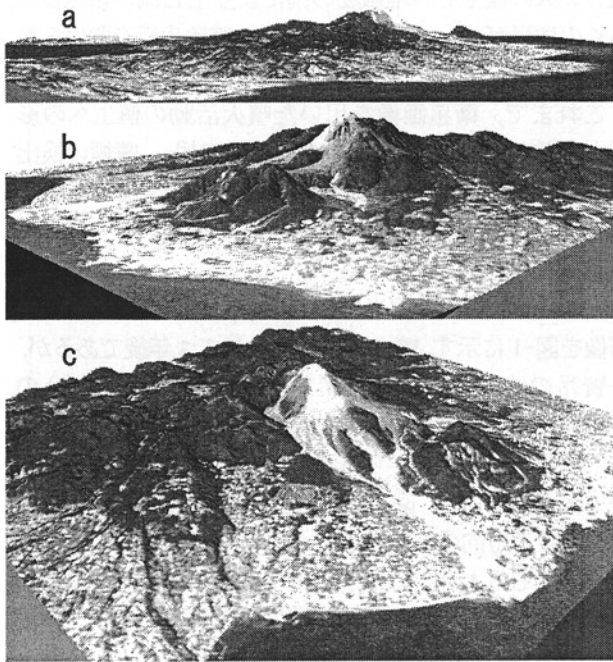


図-2. True-color 画像の立体表示.

(a) 南の低空から, (b) 北東と(c) 南西の上空から.

して成長し, さらに最近の活動で平成新山と呼ばれる最高峰を形成した様子が図-3 (c)などで読みとれる.

火砕流が東斜面の赤松谷・水無川方向と, 北東側斜面の千本木方向へ流下した状況も true-color 画像の図-2 (b), (c)から分かる. また火砕流路と堆積路での植生の状態は近赤外画像立体表示の図-3 から読みとれる. 実際にはパソコン画面に大きく表示して動かすことによって, より詳しく読みとることが出来る.

このように, SiPSE による 3D 衛星画像は火山地形と植生の理解と説明に有効であると考えられる.

4. 豪雨と土砂災害への適用

(1) 河川の形態と流域

地球観測衛星データは, 河川の広域的特徴や流域の地形と土地被覆状態をとらえるのに適している. そのうち, 近赤外画像は河川などの水域を明瞭に示し, 周辺の土地の起伏状態を太陽光の陰影で表すことが出来る. さらに, 3D 衛星画像によって地形の理解を一層進めること

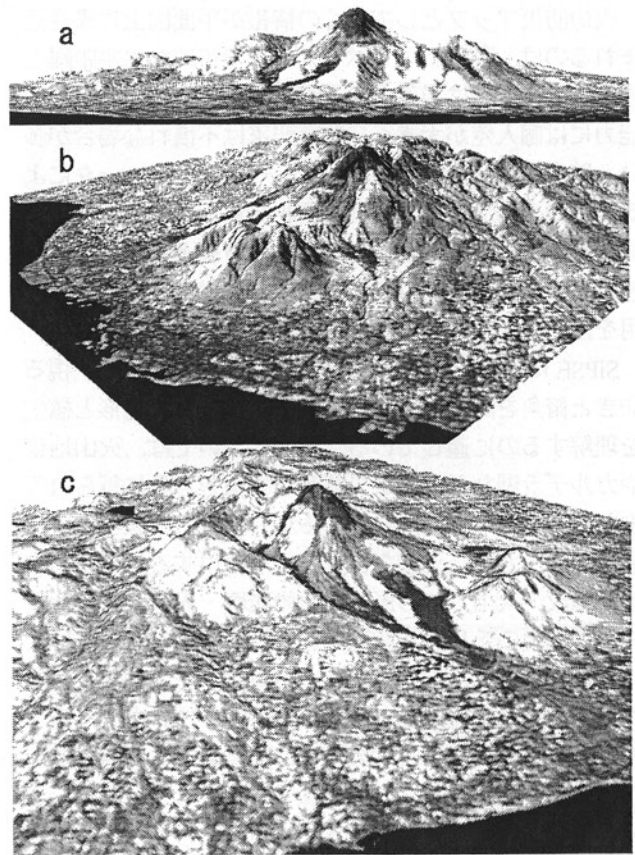


図-3. 近赤外画像の立体表示.

(a) 東の低空から, (b) 北東と(c) 南西の上空から.

が出来. 例えば, 紀伊半島南部の熊野川や四国山地南部の四万十川は, 山地がゆっくり隆起する前からあった川がそのまま谷を刻んだための穿入蛇行であることが理解できる⁹⁾. 同様にして, 中央構造線の南にある球磨川が九州山地を急流をなして深く刻んでいる様子を図-4 に示す.

SiPSE データでは, Landsat/TM の空間分解能の制約のため, 上流部などの細かい川は検出が困難であり, 間引きの悪影響を受けやすい. 従って, 河川の検討には間引き無しで切り出しを行い, それより広域は複数の画面で扱

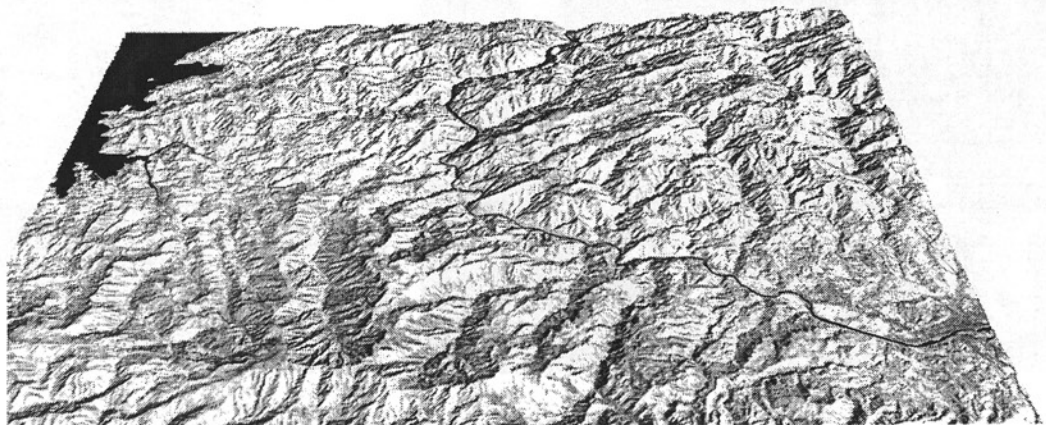


図-4. 右手前の人吉盆地から流出し九州山地を刻む球磨川. 南方上空から見た近赤外画像立体表示.

うのが適当である。また、水のない涸れ川は近赤外画像では検出しにくい、山林や緑地の中の裸地化した流路ならば true-color 画像で識別しやすい場合が多い。

豪雨災害については、雨量分布と流域や地形との関係を理解するのに、適当な間引き率の SiPSE データが有用と思われる。集中豪雨については、3D 衛星画像は局所的な地形の効果を推測する一助となる可能性がある。

(2) 1993 年鹿児島豪雨と土砂災害

1993 年夏、鹿児島県本土は度重なる豪雨と台風災害にみまわれた¹⁶⁾。8月1日の鹿児島湾奥の集中豪雨によるシラス崖の崩壊と洪水に始まり、8月6日の集中豪雨では鹿児島市が直撃され、その近隣の市町村と併せて洪水と崖崩れによる人命・家屋等の被害は記録的なものとなった。その直後に8月10日の台風7号、さらに9月3日の13号と鹿児島県本土は大きな風水害が続いた。このような天候不順な夏であったが、8月12日の Landsat/TM データによって雲の晴れ間に鹿児島県下の多くの地域を調べることが出来た¹⁷⁾¹⁸⁾。特に洪水のあとの生々しい鹿児島市街地や甲突川・思川の濁流などは true-color 画像でも認められた。

鹿児島市街地北方の吉野台地の東縁をなす竜ヶ水地区は、始良カルデラの火口壁の崖をなして鹿児島湾に接している。その狭隘な海岸部を JR 日豊本線と国道 10 号線が通っており、土砂災害対策が特に必要な場所である¹⁹⁾。8月6日の集中豪雨では崖崩れにより多くの犠牲者が出たが、JR 竜ヶ水駅付近で孤立した乗客・車両通行者・住民約 2500 人がフェリーと漁船の救助船隊で脱出した。この経過は後に NHK-TV 番組のプロジェクト X で取り上げられた。図-5 は南の上空から見た竜ヶ水地区とその周辺の true-color 画像の立体表示であり、暖帯広葉樹林に覆われたカルデラ壁の急崖の様子が分かる。図-6 は同じ切り出しのシーンを南東上空から見た表示で、(a) は図-5 と同じ 1998 年 8 月 26 日、(b) は 1993 年 11 月 16 日である。

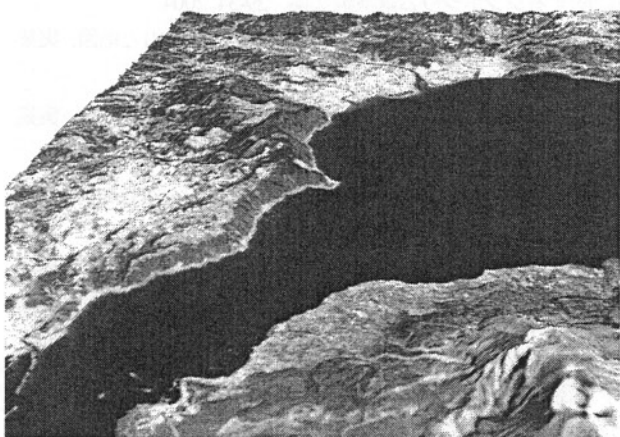


図-5. 南の上空から見た竜ヶ水地区周辺の true-color 画像立体表示 (1998 年 8 月 26 日)。

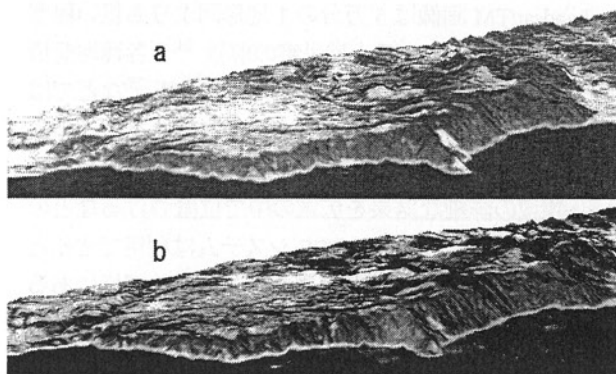


図-6. 南東上空から見た竜ヶ水地区と吉野台地東部の true-color 画像立体表示。

(a) 1998 年 8 月 26 日、(b) 1993 年 11 月 16 日。

この図-6 (b) では大崎ヶ鼻周辺・JR 竜ヶ水駅付近・多くの犠牲者が出た花倉や三船・磯の北では崖崩れの跡が白く認められる。豪雨災害から 5 年経過した図-6 (a) では、植生の回復で全般的に崖崩れの跡は目立たないが、大崎ヶ鼻周辺では裸地がかえって拡大しているように見受けられる。このように、水平距離が長くないため Landsat/TM 画像のままでは目立たない土砂災害の跡が、立体表示によって読み取りやすくなる。なお、図-5 と図-6 (a) は雲のないシーンであるが、図-6 (b) では白い雲片の幾つかが吉野台地に貼りついてしまっている。

5. 関連したアプローチについて

衛星画像の立体表示について、インターネット利用の他の公開システムが発表されている。数値標高データを用いた山岳展望ソフトはパソコン通信の時代から開発されて来た²⁰⁾。その一つであるカシミール 3D は多機能であり、鳥瞰図に地表状態の描画機能や標高による色づけを行って来たが、最近では衛星画像との結合を進めている。日本百名山については Terra/ASTER の natural-color 画像がカシミール 3D で扱える形で公開されている²¹⁾。Landsat/TM、ETM 画像については、2004 年 7 月から会員制による利用が始まった²²⁾。

アメリカで公開されている Google Earth²³⁾ は説明文がすべて英文であることは別として、ストリーミングによる使用のため、高スペックのパソコンと良い通信環境でのインターネット接続が必要である。解像度の高い航空写真の立体表示は大都市などに限られている。Landsat/ETM 画像の用意されている鹿児島地域を試した所では、画像として輪郭強調が過度になされており、地形の表現がかなり粗く、簡略な数値標高データを用いたためと思われる。他方、非常に広域を扱うには Google Earth は便利である。

SiPSE システムで用いている国土地理院の 50m メッシュ数値標高データは、土砂災害の詳細な解析には不十分

で、Landsat/TM 画像は 5 万分の 1 地形図よりも粗い程度である。航空写真による土砂災害の解析²⁴⁾や各種地盤情報のデータベース化による斜面の危険度評価²⁵⁾などでは、1/5000 地形図のデジタイザ入力が行われてきた。このような本格的な作業に入る前に広い地域で予備的検討を行ない、狭域の詳細な結果を広域の中で位置づけるなどの理解と説明の手段として、SiPSE システムは利用できると考えられる。他のソフトも一長一短の相補的關係にあるが、日本各地の衛星画像が容易に入手でき、ビューアですぐに扱えて、比較的良い画質で軽快な 3D 動画表示が出来ることは SiPSE の特質であろう。

7. おわりに

本論文では SiPSE による 3D 衛星画像の概要と特徴を述べ、火山地形と植生および豪雨と土砂災害への適用について例を挙げて検討した。元になっている Landsat/TM データの空間分解能による制約のため、詳細な地形条件の解析には不十分であるが、取り扱いの用意さと視覚的表現力のため、研究の予備的検討や結果の理解、さらに論文や啓発活動・教育における説明資料として活用できると考えられる。利用者のご意見を頂いて、衛星画像表示システムの改良をさらに進めて行く所存である。

謝辞：ランドサット TM データを提供して頂いた宇宙開発事業団（現宇宙開発機構）、数値地図 50m メッシュの使用を許可された国土地理院に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 富岡乃夫也・高山一樹・三仲啓・木下紀正：インターネットを利用した衛星画像提供・教材化システムの構築, 日本リモートセンシング学会第 22 回学術講演会論文集, 215-218, 1997.
- 2) N. Iino, K. Kinoshita and C. Kanagaki: Satellite images of air pollutants and land cover for environmental education and disaster prevention, Proc. ISPRS Technical Commission VI Symposium, Tokyo, 102-107, 2006.
- 3) 富岡乃夫也・木下紀正：教育利用を目的としたランドサット TM データの加工・処理, 鹿大教育学部教育実践研究紀要, 第 7 巻, 143-152, 1997.
- 4) 戸越浩嗣・富岡乃夫也・木下紀正：数値標高モデルとリモートセンシングデータを用いた教育用 3D 画像表示システムの開発, 日本リモートセンシング学会第 27 回学術講演会論文集, 273-274, 1999.
- 5) 木下紀正・富岡乃夫也・戸越浩嗣：SiPSE による 3D 衛星画像の作り方と読み方-日本の自然を空から見る, 古今書院, 2005.
- 6) 木下紀正編：教育用衛星画像表示提供システムの構築と活用, 科研費報告書, 鹿児島大学, 2004.
- 7) 安養寺信夫：火山砂防とハザードマップの現状と課題, 平成 14 年度土砂災害に関するシンポジウム講演論文集, 25-28, 2002.
- 8) 北村良介編：火山工学研究小委員会第 4 期報告書, 土木学会地盤工学委員会, 2004.
- 9) 総特集, 日本の火山ハザードマップ(上・下), 月刊地球 Vol. 27, 247-330, 333-417, 2005.
- 10) 木下紀正・富岡乃夫也・戸越浩嗣：衛星画像立体表示による火山地形と植生の検討, 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 46, 2001. <http://sipse.edu.kagoshima-u.ac.jp/sipse/laboratory/kenciri/Kazan3D1/kazan3d1.htm>
- 11) 木下紀正・八田明夫・松井智彰・富岡乃夫也・戸越浩嗣・池辺伸一郎：衛星画像立体表示で観る西日本の火山地形, 日本リモートセンシング学会 第 33 回学術講演会論文集, 7-10, 2002.
- 12) 木下紀正・富岡乃夫也・戸越浩嗣：SiPSE 立体表示による道南の火山地形と植生, 科研費特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」A05 班「噴火の長期予測と災害軽減のための基礎科学」2003 年度会議, 2003. http://sakuya.ed.shizuoka.ac.jp/a05kazan/archive/20031021/20031021_kinoshita_2.ppt
- 13) 後藤恵之輔：人工衛星リモートセンシングによる雲仙普賢岳火山災害の推移調査, 雲仙岳の火山災害, 土質工学会, 87-95, 1993.
- 14) 浦井稔・磯部一洋：夜間ランドサットデータによる雲仙火山の表面温度の推移, 日本リモートセンシング学会誌, 第 15 巻, 3-15, 1995.
- 15) K.Kinoshita, S.Ikebe and K.Isogai: Satellite observation of volcanic phenomena in Kyushu, Japan, Bull. Fac. Edu., Kagoshima Univ., Natural Sci., Vol. 48, 37-63, 1997.
- 16) 下川悦郎編：1993 年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 鹿児島大学, 1994.
- 17) 木下紀正・塚田公彦・矢野利明・平田賢志：鹿児島豪雨災害の衛星データによる解析, 日本リモートセンシング学会第 16 回学術講演会論文集, 45-48, 1994.
- 18) 石黒悦爾・難波直彦・三輪晃一・若松千秋：リモートセンシングによる 1993 年豪雨災害地の検出, 1993 年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 鹿児島大学, 115-121, 1994.
- 19) 楠寛・池邊浩司・酒谷幸彦・原田尚志：鹿児島県竜ヶ水地区における土砂災害に対する観測・調査について, 第 2 回土砂災害に関するシンポジウム講演論文集, 29-34, 2004.
- 20) 山と地図のフォーラム編：パソコンで楽しむ山と地図, 実業之日本社, 1997.
- 21) 杉本友彦：カシミール 3D パーフェクトマスター編, 実業之日本社, 2003.
- 22) カシミール 3D の URL : <http://www.kashmir3d.com/>
- 23) Google Earth の URL : <http://earth.google.com/>
- 24) 地頭蘭隆・下川悦郎・松本舞惠・加藤昭一・三浦郁人：空中写真判読による斜面崩壊・土石流の分布と土砂量, 1993 年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 鹿児島大学, 97-113, 1994.
- 25) 北園芳人：危険度評価点数による斜面の危険度評価, 平成 14 年度土砂災害に関するシンポジウム講演論文集, 21-24, 2002.

(2006. 5. 19 受付)