

高校地学における近赤外衛星画像を活用した 火山地形学習と防災教育

坂本 昌弥

Learning Volcanic Topography and Disaster Prevention using Near-Infrared Satellite Imagery in High School Earth Science Education

Masaya SAKAMOTO

Abstract

Teaching materials of near-infrared (NIR) satellite images and their 3D views have been developed concerning the volcanic topography of the mainland of Kyushu, Japan. Parts of them have been utilized for high school students in learning volcanic hazard map, under the improved educational environment of information apparatuses in recent years. In order to protect themselves from the volcanic disaster in various combinations, it is highly necessary for students to learn the scientific literacy of volcanoes by these materials. The high school students can enhance their understanding on volcanic disaster prevention by utilizing NIR images.

キーワード：1. リモートセンシング, 2. 3D衛星画像, 3. カルデラ, 4. 火山災害,
5. 火山防災マップ

Key Words : 1. Remote Sensing, 2. 3D Satellite Image, 3. Caldera, 4. Volcano Disaster,
5. Volcanic Hazard Map.

日本語要旨

地域住民に対して多大な影響を与える桜島火山や霧島新燃岳火山の噴火活動が近年活発化し、地域住民がその活動に強い関心を持つようになった。また多くの犠牲者を出した東北地方太平洋沖地震によって得られた教訓から、地学教育や防災教育の必要性が再認識されて来た。しかし火山防災教育を例にとると、高校生の火山防災マップに対する認知度・理解度は非常に低く、災害発生時に国・地方自治体・研究者らが意図する防災効果が十分に得られる現状にはない。

本論文では、現在、初等・中等教育の学校現場において、情報機器やインターネット環境が整い始めている点に着目した。これを活用した初等・中等教育の地学教育が、現在の萌芽的なものから今後大きく発展する可能性がある。次に本論文では、地球観測衛星によって撮影された画像の中で近赤外 (NIR) 画像が、火山地形、植生などの観察に適しており、近赤外立体視 (NIR 3D) 画像は、火山・断層地形、段丘などの検討に活用できる点に着目した。しかしこれまで初等・中等教育の中で、NIR 画像および NIR 3D 画像を活用した火山教育の実践例はほとんどない。

この二つの着目点から本論文では、衛星によって撮影された NIR 画像・NIR 3D 画像を高校地学授業の中でインターネットを活用して取得し、そこで九州地方にある特徴的な火山地形を教材化し、火山防災マップと併用しながら火山地形教育の研究を行った。これにより生徒は、この学習を通して火山やその地形に関する知識や技能を身につけ、火山災害への高い防災意識を持つようになるこ

とが明らかになった。そして火山防災に対する正しい知識・技能を身につけ、防災訓練などへ積極的に参加しようという意識を持つようになることも明らかになった。

本論文は、学校現場において充実しつつある情報機器やインターネット環境を有効に活かし、さまざまな災害が複合的に発生する火山災害から身を守る防災教育を構築することが可能であることを示した。しかし高校教育の中で科目地学基礎・地学を採用している学校は少数である。それゆえこうした防災教育を大きく発展させるためには、小学校・中学校においてこうした取組みを行う必要がある。本論文の結果はその基礎としても役立つものと考えられる。

目 次

1. はじめに
 2. 衛星画像を活用した火山地形の教材化
 - 2.1 学習教材としての地形表示画像
 - 2.2 衛星画像表示システムと NIR 画像
 - 2.3 衛星画像立体表示による九州の火山地形
 - 2.3.1 九州の地形と火山分布の概観
 - 2.3.2 雲仙火山
 - 2.3.3 阿蘇カルデラと阿蘇火山群
 - 2.3.4 加久藤・小林カルデラと霧島火山群
 3. 人工衛星画像と火山防災マップを活用した授業実践
 - 3.1 学習の必要性とねらい
 - 3.2 火山防災マップに対する生徒の意識
 - 3.3 授業実践
 - 3.4 授業成果
 4. まとめと課題
- 謝辞
引用文献

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を契機に、自然災害や防災に対する国民の関心はこれまで以上に高まっている。これに伴い、それぞれの地域において発生した過去の自然災害によって形成された地形の特徴を知り、その上に立って自然災害に対する自主的防災組織を作ろうという市民レベルでの防災・減災活動の機運が高まっている。また、自然災害と防災を学校教育の中にどのように取り入れていくかという議論も活発になってきている（城下，2012）。

地震や津波、台風等によってもたらされる自然災害だけではなく、発生頻度は比較的低いが、いったん発生すると巨大な複合災害になる可能性がある火山災害（宮入，1993）に対する関心も高まっており（中村ほか，2004）、例えば2012年5月23日、関東地方知事会議では、山梨県が提案した「富士山火山防災対策の充実について」を検討・了承するなど、地方自治体や国といった行政側は、活動が危険視されている火山に対して様々な具体的施策を打ち出している。

1991年6月に発生した長崎県の島原雲仙普賢岳の火山災害を契機にして、国が火山噴火災害危険区域予測図作成指針（国土庁防災局，1992）を出すと、鹿児島市はこれを受け、同年垂水市と桜島町（現鹿児島市）と協力して桜島火山噴火災害危険区域予測調査検討委員会を設置し

た。そしてこれにより作成された桜島火山防災マップの住民啓発型予測図（以下防災マップ）は、大正噴火レベルのプリニー式噴火を想定し、こうした桜島火山の活動が災害になる場合において、地域住民の具体的避難行動を明確に記載している。その後、2006年に発生した昭和火口の再活動などもあり、活発化するその活動にあわせて、これは数度改訂をされた。現在では、桜島火山における過去の4大噴火の概要と近年の主な噴火活動に関する記述や、気象庁が策定した噴火警戒レベルといった最新の知見を取り入れた版に至っている（鹿児島市、2010）。

石原（2005）は、この防災マップの作成意図や使用方法などを明らかにし、また噴火と同時に発生する可能性がある津波や地震による災害に関する諸問題を述べた。これに加え坂本（2007a）が指摘したように、防災マップを活用する高校生を例にすると、そこに記載されている災害や防災に関する用語を理解するために必要な基本的な素養（科学リテラシー）が不足しているという点に大きな問題がある。こうした点を克服しない限り、行政側の意図する防災効果を十分に上げることは困難であろう。

以上のことから、国や地方自治体といった行政レベルにおいては、火山防災の必要性は理解され、それにともなって十分とは言えないながらも様々な施策が実行されているが、それを市民側が的確に理解できるかという点において大きな問題があり、これは早急に改善すべき問題である（坂本・木下、2006）。それゆえ本論文では、自然災害の中でも特に火山災害を事例に、高校生に対して火山地形と防災マップを理解することを手助けする教材の作成とそれを活用した授業実践の研究を行う。そして、その教育効果を検証し、学校教育の中における火山防災教育が減災に大きく寄与する可能性があることを提言する。上記の研究目的を達成するために、2章において教材としてのNIR画像およびNIR 3D画像が火山地形を学ぶ上で有効な教材であることを述べ、3章において、NIR・NIR 3D画像と火山防災マップを活用した授業実践による教育効果について考察する。

2. 衛星画像を活用した火山地形の教材化

2.1 学習教材としての地形表示画像

独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター（2008）の調査結果によって、中学校教師の44.9%が地学分野を教えることに苦手意識を持っていることが判明した。これに対し火山教育分野においては、実践的な教材開発研究の蓄積が行われている。林（2006）は、児童・生徒にとって身近な食材を活用して、火山の成因や活動をわかりやすく体感させる方法を考案した。また早川・宮永（2008）は、炭酸飲料やデジタル教材を用いた体験学習、また野外観察を重視した火山地形学習の方法について考察した。このような研究の蓄積は、専門的に地学を学んだ経験の少ない初等・中等学校の教師にとって大いに役立つものとなる。

この状況の中、リモートセンシングや情報工学の進展によって火山地形学習が、現在の萌芽的なものから大きく発展する可能性が見えてきた（坂本、2007b；坂本、2007c；坂本・木下、2010）。これは、高等学校学習指導要領（文部省、1999）の理学分野から、コンピュータや情報通信ネットワークを活用して情報の収集・検索などを積極的に行うことが強調されはじめた

ことを契機に、教育活動が行われる教室等の施設にインターネット環境が急速に整い始め（越桐, 2009）、どの教室施設でも教育内容に関連した情報を入手することができるようになってきたためである。こうした情報通信技術を活用した教材の開発は、理科教育を大きく変革させる可能性がある。現在、中学校理科教師が研修や教材研究の上でインターネットを活用する割合は92.0%である（独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2008）。

また文部科学省（2009）の高校地学分野の学習指導要領では、野外地形観察を年間指導計画の中で適切な時期に計画して行うとなっているが、これに反し、多くの学校では野外地形観察の機会は少ないことが指摘されている（宮下, 1999；三次, 2008）。こうした野外学習の不足を補うためにも、情報工学を活用した教材開発の必要性は高い。

衛星画像を用いて火山に関する学習を行う場合、以前は多額の画像取得経費が必要であり教材化しづらかったが、最近では、無料で高画質の人工衛星画像を得ることができるサイトが公開されている。例えば、学習教材として地形図や陰影図、航空写真、数値標高データを基に作成されたカシミール 3D（杉本, 2002）や、2004年に始まり2006年に日本語版が公開された Google Earth (<http://earth.google.co.jp/>) は、画質も良く、用途によっては十分活用できる場合がある。それぞれに優れた特長があり、それを活かした地形学習が行われている。

しかし航空写真や Google Earth は、画像中に雲や霧が映り地形が不鮮明である場合があり、適切な画像が入手しづらく、地形学習の教材としては十分ではない場合がある。また、航空写真や Google Earth 画像は、撮影した年や季節、時刻によって植生の影響や陰影が色濃く残り、学習目的とする地形が認識しづらい場合もある。さらに、これらは可視光のみによる画像である場合がほとんどである。加えて、航空写真は学習者が見たい角度・スケールで対象を見ることができないため、探求型の学習には適さない場合もある。カシミール 3D は、DEM (Digital Elevation Model) の数値標高データによる画像であるため、さまざまなデジタル地図・衛星画像や GPS などの情報機器と組み合わせた操作が可能になる反面、こうした加工技能を持たない教師や児童・生徒は、現実感のある画像が得られない場合がある。地形図も同様であり、等高線が描く曲線によって地形が持っている特徴を捉えやすいが、児童・生徒は実像でないために現実感のあるものとして認識できないことが考えられる。

2.2 衛星画像表示システムと NIR 画像

初等・中等教育における地学教育現場では、短時間で安価に、そしてさまざまな学習目標に対応できる衛星画像が入手できることが求められる。2000年に公開された鹿児島大学 SiPSE グループが開発したデジタルコンテンツである教育用衛星画像表示システム SiPSE (Satellite image Presentation System for Education；以下 SiPSE)（戸越ほか, 2000；木下ほか, 2005）は、インターネットで簡単な登録をすれば、誰でもパソコン上に SiPSE のフリーソフトをダウンロードすることができる。これを活用すれば、日本のほぼ全域から必要な人工衛星画像を入手することが可能である。さらにこの SiPSE の特長の一つとして、極力地形観察を遮る雲や霧が入っていない衛星画像を使用していることが挙げられ、Google Earth などと比較してノイズの少ない鮮明な画像が得られる。

3D化するために用いられる標高データは、国土地理院発行の数値地図50mメッシュをもとに、衛星画像データ(28.5mメッシュ)と組み合わせて作成されている。このような画像データと標高データを一体化した広域のSiPSEデータがサーバに用意され、ユーザーはホームページ(<http://www.sipse.ddo.jp/sipse/>)から必要な範囲を切り出しダウンロードして使用する。そこで得られる画像の標準サイズは、512ピクセル(1辺約15km)と1024ピクセル(1辺約30km)の画像であり、用途に応じて使い分けができる。さらに、広域を6倍までの間引きによって扱うことができる。切り出したSiPSEデータは、ホームページからダウンロードできるソフトウェアであるSiPSEビューアによって処理され、平面画像のままバンドの組み合わせを変えることや、書き込みなどの操作が可能である。そして立体視(以下3D)して視点の移動や動画としての取り扱いができる。3D表示では、標高差と水平距離の比率である縦比を2倍まで変化させ、高さを強調することもでき、表示倍率の異なる3D画像を簡単に作成することができる操作性を有する。SiPSEで作成した画像はJoint Photographic Experts Group(JPEG)形式であり、さまざまな加工がやすく、画像上にラインを入れる作業は容易にできる特長を有する。

このSiPSEには、宇宙開発事業団NASDA(現宇宙航空研究開発機構JAXA)が受信したLANDSAT-5のTMセンサーにおける7つのバンドのうち、可視光および近赤外領域の1~4のバンドを利用した衛星画像データが準備されている。TM(Thematic Mapper)センサーとは、この衛星に搭載された可視-赤外域での7つのバンドの検出器のことである。

NIRは、可視光に近い波長0.7~2.5 μm の可視光に近い電磁波である。主な用途として光ケーブルでの光通信やテレビのリモコン等のデータ転送用無線通信技術に活用されている。SiPSEデータのNIRはLANDSAT-5のTMバンド4の波長0.76~0.90 μm である。このNIR画像には次のような特色がある。

- (1) NIRは、水に吸収される性質があるため、NIR画像では水域と陸域の境界を明確に見分けることができる。NIR画像を用いると学習者が陸域内で河川や湖沼、火口湖などの地形の要素を短い時間で認識しやすいという点は、可視画像や地形図より優れている。
- (2) NIRは、可視光に比べ大気による散乱が少ないため、その画像は太陽直射の陰影によって地形の凹凸が分かりやすく、火山地形の特徴をつかみやすい。
- (3) 植物のない裸地や都市域なども近赤外線の反射が少ないために黒く見え、その性質から植生の状態や土地の利用度なども理解することができる(KINOSHITA et al., 1997)。
- (4) 数値標高データと結合した可視立体視画像および近赤外立体視画像(以下NIR 3D画像)は、火山・断層地形、段丘などの識別に活用できる(木下ほか, 2002; 坂本・木下, 2006; SAKAMOTO et al., 2007)。

2.3 衛星画像立体表示による九州の火山地形

2.3.1 九州の地形と火山分布の概観

本節では、九州地方の火山地形の特徴をNIR画像・NIR 3D画像を用いて考察し、一部で可視画像との比較も行い、教育利用への可能性を検討する。

九州地方の地形を大局的に見るため、Landsat-5観測による軌道と観測日の異なる雲のない

NIR 画像をマージして図 1 に示す。日本時間で10:10頃の南東方向からの日射の陰影で、山地と平野部などの分布の様相が分かりやすい。特に、九州中南部に位置する九州山地の大きな広がり、その険しさを示す陰影で判り易い。その北縁は九州を横断する中央構造線の一部をなす臼杵 - 八代構造線 (矢部, 1926) で区切られ、阿蘇火山の火砕流堆積物で埋められた地形に接している (小野, 1984)。その地形は凹凸のある九州山地と対照的に陰影の少ない滑らかな地形であることがわかる。図 1 中には平野部を流れる大きな河川の流路が認められるが、さらに分解能を上げれば多くの河川の詳細も見ることができる。

図 1 では、顕著な火山地形として、九州の北東部に 国東半島の両子山火山、 由布岳・鶴見岳・九重火山、 阿蘇カルデラと阿蘇火山群、北西部に 多良岳火山、 雲仙火山、南部に 加久藤・小林カルデラ、 始良カルデラ、 阿多カルデラが認識できる。このうち と は最近 1 万年の活動を条件とする活火山ではないが、第四紀火山の大規模な地形である。九州の北部から中部にかけて、北東 - 南西に延びる別府 - 島原地溝 (松本, 1979) に沿って ・ ・ が存在し、九州の南部では鹿児島地溝 (露木, 1969) に沿って北北東 南南西に ・ ・ が存在する。

本節では、九州本土の 阿蘇カルデラと阿蘇火山群、 雲仙火山、九州山地より南の 加久藤・小林カルデラと霧島火山群の地形を取り上げて NIR 画像・NIR 3D 画像の特徴を論述する。

始良カルデラと桜島についてはこれまで度々論述した (坂本ほか, 2006 ; 坂本, 2007c)。それゆえ本章においては取り上げない。

2.3.2 雲仙火山

東西20km、南北25kmの大きさである雲仙火山は、面積的に島原半島の多くを占める (図2a, b)。東西方向の正断層を数多く持ち、別府 - 島原地溝の一部であるとされる (星住・宇都, 2000)。図2b の NIR 画像でもその断層がはっきりと識別できるが、NIR 画像を 3D 化した図 3 では千々石断層の北崖がよりいっそう明瞭に認識できる。

1792年の地震によって眉山・天狗山の東斜面の山体が崩落した。これにより $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ の土量が有明海に崩れ落ち、津波を発生させ、対岸の熊本側で 1 万人を超す死者を出す災害となった (井上, 1999)。岩屑流が形成した島々が九十九島と呼ばれ現在でも残っていることが、図 4 の NIR 3D 画像でも認められる。

雲仙普賢岳は、1990年から噴火活動が本格化し、1991年に人的被害を出した。その後1995年まで噴火活動が継続し、その間度重なる火砕流および土石流を発生させた。また、9,400回以上もの火砕流が発生し、火山学者・報道関係者を含む43名もの人命を奪った (杉本・長井, 2009)。火砕流のうち、数回は流下距離が 4 km を超えているが、溶岩ドームの東の水無川および北東の千本木地区に向かった流路の痕跡は、可視、NIR 画像で認識することができる (図 2 , 図 4)。

2.3.3 阿蘇カルデラと阿蘇火山群

巨大な陥没カルデラである阿蘇カルデラは、中央火口丘を中心として東西18km、南北25kmの大きさを持ち、日本で有数の規模を持つ (小野ほか, 1996)。図 5 , 図 6 に NIR 画像および



図1 九州本土における第四紀火山およびカルデラの位置。ランドサット5号による NIR 画像。
① 国東半島および両子山, ② 由布・鶴見岳・九重火山, ③ 阿蘇カルデラおよび阿蘇火山群,
④ 多良岳火山, ⑤ 雲仙火山, ⑥ 加久藤・小林カルデラおよび霧島火山群, ⑦ 始良カルデラおよび桜島火山, ⑧ 阿多カルデラおよび開聞岳

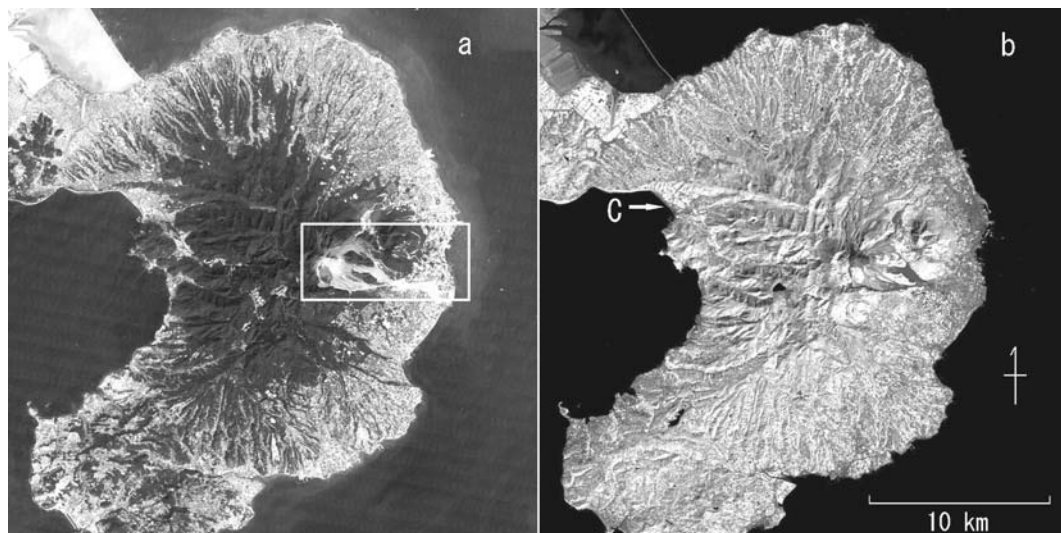


図2 島原半島にある雲仙火山。可視画像(a)および NIR 画像(b)。白フレームの中に雲仙普賢岳の溶岩ドームと火砕流の跡を見ることができる。また NIR 画像では千々石断層(C)を明瞭に識別することができる。

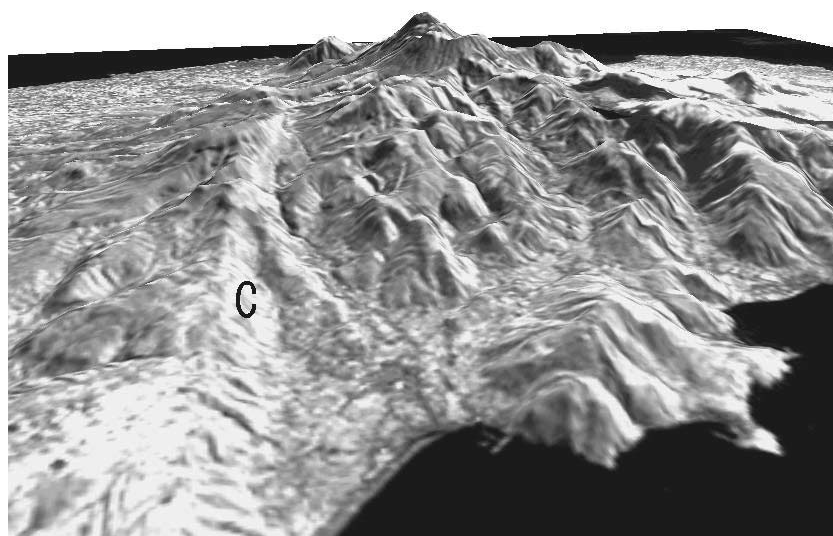


図3 島原半島を西から東へ見る NIR 3D 画像 (C : 千々石断層)

NIR 3D 画像を示す。これらの画像では、日射による陰影によって大規模なカルデラ地形と中央火口丘が良く識別できる。地形を大局的に把握するには NIR 画像および NIR 3D 画像は効果的であると言える。

図7に示したカルデラ西壁の NIR 3D 画像では、北壁と南壁の境界である立野火口瀬が明瞭にわかる。その立野火口瀬からは白川が蛇行しながら西へ流れている様子がわかる。この火口瀬には北落ちの正断層である布田川断層が走っている (千田, 1979)。

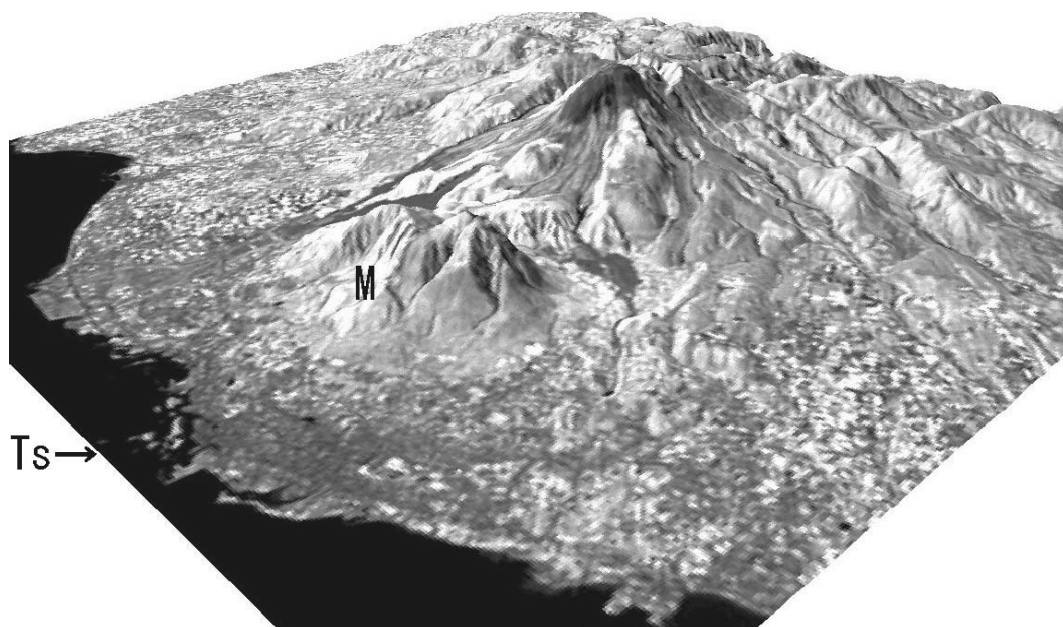


図4 北東から雲仙火山と島原半島を俯瞰した NIR 3D 画像（眉山(M)と九十九島(Ts)の位置関係、普賢岳から流下した火砕流痕がよくわかる）

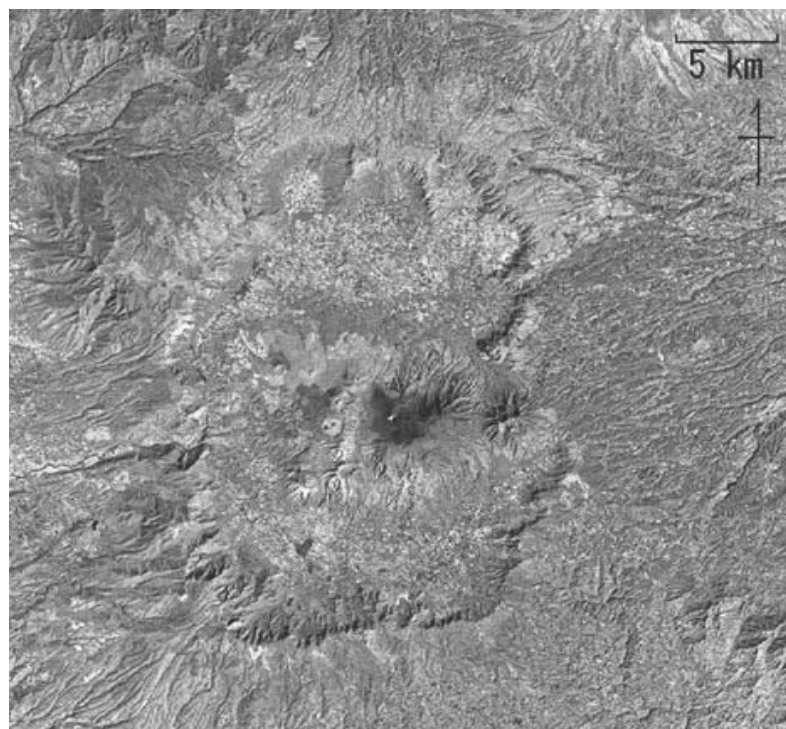


図5 NIR 画像による阿蘇カルデラ

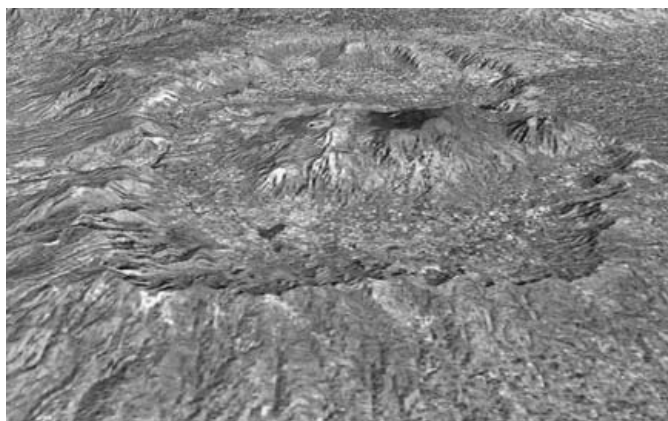


図6 南から観察した阿蘇カルデラ NIR 3D 画像

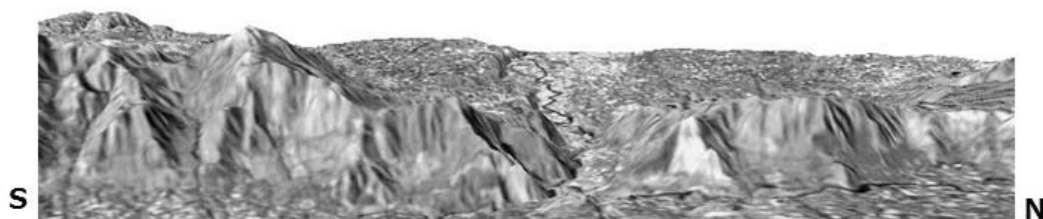


図7 阿蘇カルデラ西壁の NIR 3D 画像（北壁と南壁を分離する場所が立野瀬；河川は白川）

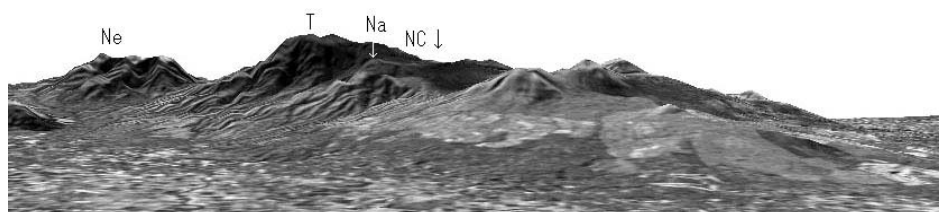


図8 北西方向から俯瞰した阿蘇カルデラの中央火口丘の NIR 3D 画像（Ne；根子岳，T；高岳，Na；中岳，NC；火口）

図8は阿蘇中央火口丘の NIR 3D 画像である。阿蘇カルデラの中央部に位置する中央火口丘は、多数の成層火山や火砕丘、溶岩流から形成されている（小野・渡辺，1985）。この中央火口丘は東西方向に配列し、その中に高岳（海拔1592m）、中岳（海拔1506m）などが存在する。

2.3.4 加久藤・小林カルデラと霧島火山群

霧島火山群は加久藤カルデラの南東縁に位置し（町田ほか，2001），大小20の単成・複成火山からなる（図9）。北西から飯盛山，栗野岳，韓国岳，新燃岳，高千穂峰，御池などの火山が北西 - 南東方向30km，北東 - 南西方向20kmの範囲に存在している。NIR 画像では複数存在する火山の火口や山体の大きさなどを明確に把握することができる（図9）。

鹿児島地溝（露木，1969）の北縁に位置する加久藤カルデラは、最終的に約33万年前の噴火

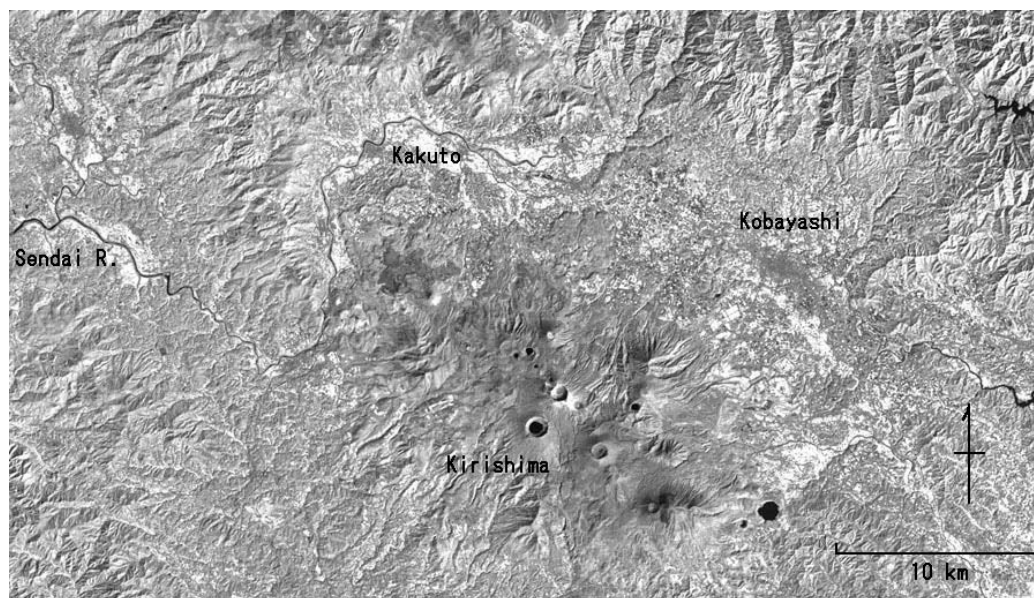


図9 加久藤－小林カルデラと霧島火山群のNIR画像（北西部を流れるのは川内川）

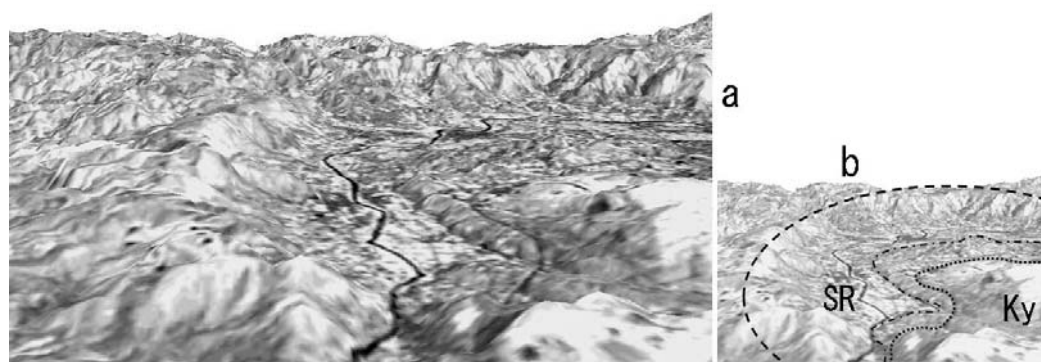


図10 a：南から俯瞰した格闘カルデラ西側地域のNIR 3D画像； b：破線は加久藤カルデラの頂点を、SRは川内川、Kyは京町台地と河岸段丘を示す。

によって形成され、形成後にカルデラ湖が出現し、その後、カルデラ内に堆積した湖成層は、河川によって下刻され、段丘地形が形成された（荒牧，1968）。現在の加久藤カルデラにおいて、数段の河岸段丘地形が発達していることが図10から読み取れる。この画像は縦比を2倍に強調しているが、京町から南に向かって流れる川内川の東岸に発達した河岸段丘が存在することがわかる。

加久藤カルデラの東に隣接する小林カルデラは、加久藤火砕流や入戸火砕流に厚く覆われており、火山地形としての顕著な特徴は見られない。

霧島火山群の古期火山群に属する栗野岳、湯之谷岳、烏帽子岳、獅子戸岳、矢岳などは、西側に偏って存在しており（Kobayashi et al., 1981；井村，1994）、明瞭な火口を持たない（図12）。それに対し新期火山群に属する大浪池、韓国岳、新燃岳などの火山は大きな火口を、御池、不動池、六観音御池、百紫池などの火山は、マール（爆裂火口）が存在することで特徴付けられ

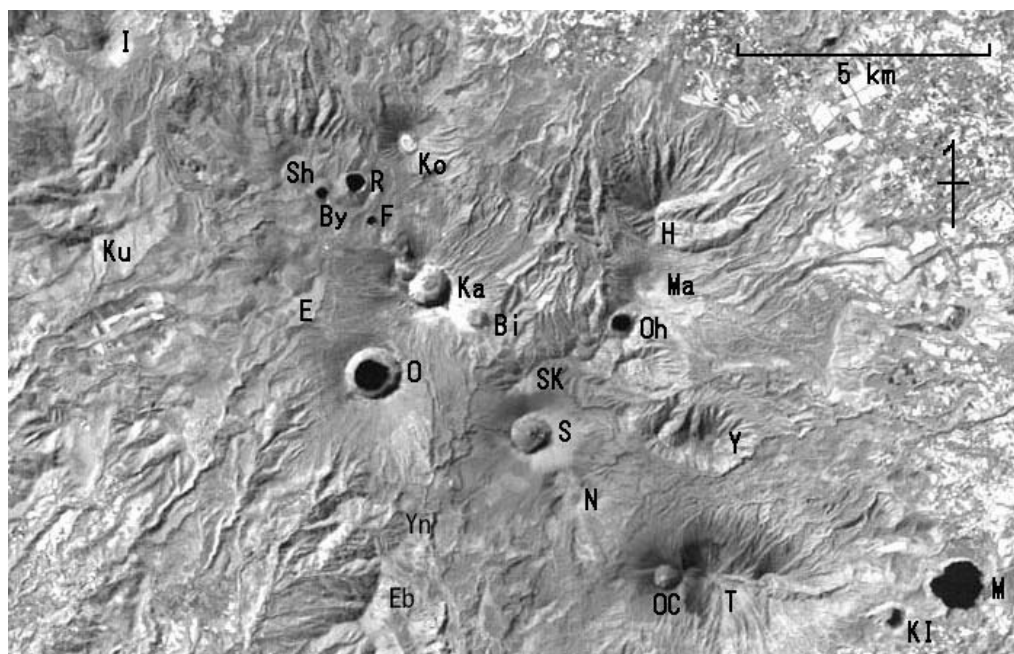


図11 霧島火山群の NIR 画像 (I: 飯盛山, Ku: 栗野岳, Sh: 白鳥山, By: 白紫池, E: えびの岳, R: 六観音御池, F: 不動池, O: 大浪池, Ko: 甌岳, Ka: 韓国岳, Yn: 湯之谷岳, Eb: 烏帽子岳, Bi: 琵琶湖, SK: 獅子戸岳, S: 新燃岳, N: 中岳, Oh: 大幡池, H: 夷守岳, Ma: 丸岡山, Y: 矢岳, OC: 御鉢, T: 高千穂峰, KI: 小池, M: 御池)

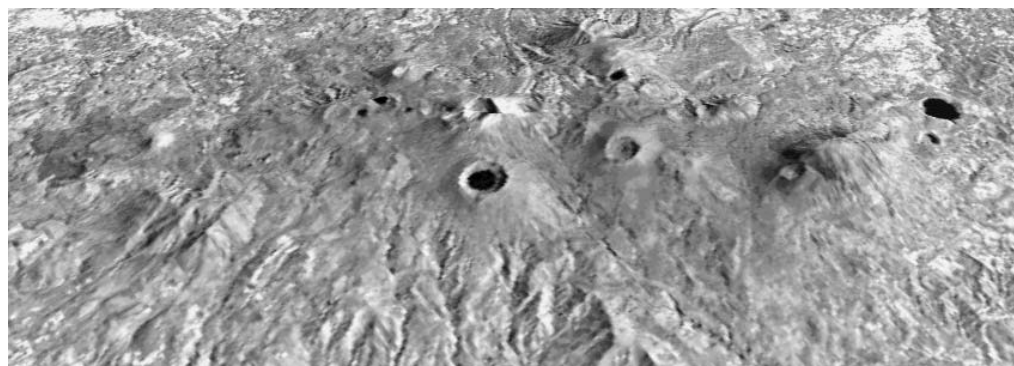


図12 南西方向から俯瞰した霧島火山群の NIR 3D 画像

る (図11)。

図12は霧島火山群を南西から示した NIR 3D 画像である。火口や浸食された地形を明瞭に判読することができる。

3. 人工衛星画像と火山防災マップを活用した授業実践

3.1 学習の必要性和ねらい

高校理科教育に対して当時の文部省 (1999) は、コンピュータや情報通信ネットワークを用

いた情報の収集・検索などを積極的に推進する方針を出した。この教育環境の変化は、情報機器を活用して地域の火山地形の特徴を児童・生徒に理解させる教材の開発を行う機運を高めた。また多様な火山地形の科学的研究・知見が進んできた現状からみて、これは有効な教育手段になることが見込まれた。当時の文部省は、同時に野外地形観察を年間指導計画の中で適切な時期に計画して行うことも指導している。2012年から導入された学習指導要領（文部科学省，2009）では、科目「科学と人間生活」において、地域の自然景観の変化と自然災害について触れること、「地学基礎」では、プレートの発散境界や収束境界における火山活動やホットスポット・火成岩について触れること、「地学」においては、日本列島の形成史を地形や地質の特徴に基づいてプレートの運動と関連づけて扱うこととなっている。また中学校の理科教育地学分野では、「第2分野」において、火山の形、活動の様子およびその噴出物を調べ、それらを地下のマグマの性質と関連づけてとらえるとともに、火山岩と深成岩の観察を行い、それらの組織の違いを成因と関連づけてとらえることとなっており、かつ大地の活動の様子や身近な岩石、地層、地形などの観察を通して、地表に見られる様々な事物・現象を大地の変化と関連づけて理解させ、大地の変化についての認識を深めるとなっている（文部科学省，2008）。こうした文部科学省が出している方針に加え、2011年において活発化してきた桜島火山や新燃岳火山の噴火活動や、2万人近い死者・行方不明者を出した東日本大震災とその津波から得た教訓によって、市民の科学的リテラシーの重要性とそれを育成する地学教育の必要性が再認識された（第四紀学会，2011）。それゆえ、地形に関する具体的教育方法の確立は、こうした側面から考えても急務といえる。

ここでは高校内に設置してある情報機器を活用して、高校生が桜島の防災マップ（図13）を理解するために必要な現実的な教材の作成と防災授業を行い、その効果を検証することをねらいとした。

3.2 火山防災マップに対する生徒の意識

平面図に様々な事項が書き込まれた火山防災マップを読みこなすためには、基本的に地質学・火山学的な知識が必要である。また、市民に対して防災マップを配布するだけでなく、それに関する教育普及活動をしなければ十分にその効果を得ることはできない。これまでの研究において、防災マップの読み取り能力に関するアンケート調査・分析を行ってきたが（坂本，2007a），今回これにデータを追加し、合計194名の高校生にアンケート調査・分析および実践授業を行った。その結果を表1に示す（アンケート調査のみで授業を受けていない生徒のデータは除いてある）。

表1 高校生の防災マップ意識

		はい	いいえ
質問1	防災マップの存在を知っているか (%)	10.0	90.0
質問2	家族で避難方法を話し合ったことがあるか (%)	22.2	77.8
質問3	防災訓練に参加したことがあるか (%)	0.0	100.0
質問4	火山情報を得ようとしたことがあるか (%)	3.1	96.9

質問1でわかるように、防災マップについてほとんどの高校生がその存在を知らないことがわかる。またアンケート調査後、「知っている」と答えた生徒を個別に呼び、更に口頭で聞き取り調査したところ「実際に見たことがある」という生徒は1.1%であった。大正噴火レベルの噴火があった場合、鹿児島市でも多くの被災者が出ることが予想されるが、防災マップの配布方法や存在意義について再考する必要性が生じている。次に質問2のアンケート結果では、高校生とその家族の避難に対する心構えが、非常に低調であることがわかる。また質問3でわかるように、毎年1月12日に実施される桜島総合防災訓練に参加経験のある生徒数は0であった。訓練日が平日である場合が多く、また桜島を中心とした訓練であるために、薩摩半島側に住む生徒がこの訓練に参加したことがないのはやむを得ない面もあるが、大正噴火における被災者の多くが桜島対岸の鹿児島市民である事実から、各学校は組織的に訓練を実施する必要があるだろう。質問4は近年活発に活動している桜島の火山情報を積極的に取得したことがあるかという問いであるが、自ら入手しようとした生徒が3.1%にとどまった。

3.3 授業実践

火山とその地形に関する授業は2006年から2010年の5ヶ年にかけて、鹿児島玉龍高校2年生地学選択者合計194名を対象に実施した。全2時間(50分×2回)を用いて行い、1時間目はNIR・NIR 3D画像を用いた火山地形学習、2時間目は火山防災マップを活用した学習である。またそれぞれの授業後、生徒にはアンケートを実施した。本論文では2010年に実施した授業を例にして具体的に説明する。本論文における授業は、次の(1) - (4)の学習が終了している段階で実施した；(1)火山活動、(2)火山の地形、(3)火山の分布、(4)火山岩と火山の噴火様式・規模(数研出版、2010)。本授業の年間授業計画の中における位置づけと実施時期を表2に示す。

1時間目は、火山地形の学習の主題を「NIR画像を活用して郷土の火山・カルデラ地形を観察しよう - 高校地学学習として - 」と設定して授業を行った。2006 - 2007年はコンピュータを操作して、実際にSiPSEによって画像取得とその考察までを研究した(坂本、2007b)が、2008 - 2010年はSiPSEの操作は簡略化し、3章で取り上げた画像をあらかじめ印刷しておき、これを観察することによって生徒に火山地形の特徴を理解させ、その成果を意見発表およびアンケートを行った。

授業を実施するにあたって、(1)コンピュータでSiPSEを使用する際の操作性を知ること、(2)可視画像およびNIR画像で火山地形の観察を行い、両者の違いを明らかにする、(3)NIR画像で火山地形の観察を行い火山地形の特徴を理解する、という3点を理解させることを目的とした。

2時間目は学習の主題を「桜島の活動と火山防災マップ(火山防災マップ)の理解」と設定し、防災マップと桜島火山NIR画像および桜島火山地質図を用いて授業を行った。この授業を実施するにあたって、(1)活動の原因と人的・物的被害の理解、(2)桜島における噴煙活動の歴史理解、(3)桜島の噴煙活動と火山防災マップの必要性の理解、(4)火山防災マップの活用方法と火山防災の理解、という4点を理解させることを目標とした。この目標の設定理由は、火山災害では、火砕流・溶岩流・火山ガス・火山性地震・火山性津波・噴石・降灰等が多重に発生する可能性が十分にあり、また一度発生するとその影響が長期間にわたって続く場合が十分

表2 年間授業計画と実践授業の実施時間

構成	関連単元	配当時間数	実施時期
序章 地学 を学ぶにあたって		2	4月
第1編 地球の構成			
第1章 地球の概観		7	4月
第2章 地球の内部		8	5月
第2編 地球の活動と歴史			
第1章 地球の活動		11	5月
	火山活動	1	5月
	火山の地形	1	5月
	火山の分布	1	5月
	火山岩	3	6月
NIR・3D NIR 画像と防災マップを活用した授業		2	6月
第2章 地層の形成		5	6月
第3章 化石と地質時代		7	7月
第3編 大気・海洋の構成			
第1章 大気・海洋の構造		3	9月
第2章 地球の熱収支と大気・海洋の動き		5	10月
第3章 大気と海水の運動		12	11月
第4章 大気・海洋の相互作用と地球の環境		4	12月
第4編 宇宙の構成			
第1章 地球と惑星の運動		7	1月
第2章 太陽の構造と活動		6	2月
第3章 惑星の性質と進化		6	2月
第4章 銀河系と宇宙		4	3月
計		90	

に想定される。こうした複合的・長期的災害から自らの身を守るためには、衛星画像や火山地質図を用いて火山を理解し、防災マップを活用できる技能の習得が重要であると生徒に理解させることを学習目標としたためである。

3.4 授業成果

1時間目の授業実施内容を表3に示す。

1時間目の授業を受けた生徒に対してアンケートを実施した結果を表4に示す。

質問1は、地学的な野外での観察活動の経験の有無を質問したものである。様々な自然現象から共通した法則性を導き出し、理論化する科学的な思考力養成は、理科教育の大きな目標の一つであり、地学教育の場合、野外観察は欠かすことのできない学習内容である。学校教育の中に多様な野外観察を取り入れる必要性は大きい。今回のアンケート結果では野外観察活動の

表3 1時間目の授業実施内容

火山地形授業の実際					
本時の学習目標		NIR 画像を活用して郷土の火山・カルデラ地形を観察しよう —高校地学学習として—			
時間 (分)	授業の流れ	主な発問の概要	予想される反 応・活動	教師の指導・支 援	留意事項・評価 基準
0	スタート 導入	①火山地形に関する復習		・前時の復習 ①SiPSE の概略 説明	①-②学習過程 を理解できた か。
	↓				
	SiPSE の操作	②SiPSE の起動 ③SiPSE の操作説明 ④阿蘇カルデラの大まかな位 置の確認と画像の切り出し ⑤加久藤・小林カルデラの位 置の確認と画像の切り出し ⑥始良カルデラの大まかな位 置の確認と画像の切り出し ⑦それぞれの画像の印刷	②～⑦の学習 過程を実行す る。	③PC の操作が できない生徒 を支援する。 ③-⑤ 教室の 共用テレビ画 面に大まかな カルデラや火 山の位置を提 示する。 ⑦画像印刷が できない生徒 を支援する。	④-⑥の画像は NIR 画像と可 視画像の両方 を切り出すよ うに指示する。 時間がない場 合は省略する。
25	画像の確 認・考察	⑧カルデラ地形の特徴を考察 する。	⑧教科書や副 教材と見比べ る。	⑦画像印刷が できない生徒 を支援する。 ⑧共用テレビ 画面に阿蘇カ ルデラの画像 を映し、考察 の参考資料と する。	⑧カルデラ地 形の特徴を考 察できたか。
30	意見発表	⑨理解できたことを画像を用 いて発表する。		⑩アンケート 用紙を配布す る。 ⑩アンケート 用紙を回収す る。	⑨意見を述べ ることができ たか。
40	アンケート	⑩アンケートに答える。			⑩切り出した 画像も回収す る。
50	終了				

経験者が11.9%しかおらず、これは科学教育の中で大きな問題点として挙げられるであろう。

質問2は、コンピュータ上でSiPSEを用いてNIR画像、および3D画像を取得する際の操作性について問うたものである。この質問は2006年、2007年の二年間で92名の生徒に対して行ったものであるが、そのうち84.8%の生徒は「容易である」「比較的容易である」と答えた(坂本, 2007b)。授業の中で5分程度を用いて操作の方法については説明したが、ほとんどの生徒は迷うことなく短時間で的確に画像を取得できた。これは学習を指導する小・中学校教師にとっても重要なことであり、教育用ソフトウェアは短い時間で簡易な操作性が要求される。SiPSEは航空写真と異なり、生徒自身の興味のある角度・距離で画像を取得することができる特長がある。短時間で生徒自身の興味のある画像を取り出すことができるソフトウェアは、探求的な学習に向いている教材といえる。

表4 1時間目の学習アンケート結果（防災授業を欠席した生徒及び、授業前のアンケートをしていない生徒のデータは除外してある）

質問1	地学的な野外学習の経験があるか。		
	(n = 194)		
	経験がある (%)	11.9	
	経験がない (%)	88.1	
質問2	SiPSE で画像を取得する際、PC の操作が難しいと思ったか。		
	(n = 92)		
	困難 (%)	2.2	
	比較的困難 (%)	13.0	
	比較的容易 (%)	43.5	
	容易である (%)	41.3	
質問3	NIR 画像と可視画像を見比べて地形的特徴がわかりやすいのはどちらか。		
	(n = 194)		
	可視画像 (%)	35.1	
	近赤外画像 (%)	64.9	
	無回答 (%)	0.0	
質問4	NIR 画像を見ることによって九州の火山地形の特徴が理解できたか。		
	(n = 194)		
	よく理解できた (%)	63.9	
	比較的 understanding できた (%)	24.2	
	やや理解できなかった (%)	10.3	
	理解できなかった (%)	1.5	

質問3は、アンケートで NIR 画像と可視画像はどちらが地形の特徴を捉えやすいかを問うた結果である。可視画像に比べて64.9%の生徒が NIR 画像のほうが火山地形を認識しやすいと回答した。火山地形を学習する際にカラー写真のような可視画像より NIR 画像が有効であることがわかる。自由記述では「色彩的に植物の影響が少ないので、地形を観察しやすい」という感想が全体の42.2%であり、NIR 画像の特徴が火山地形学習に適していることがわかる。また図14の NIR 画像を観察して、「NIR 画像によって桜島の山頂や昭和・大正溶岩の跡などでは植生が回復していないことがわかる」に自ら気づき、感想を述べた記述が22.7%もあった。野外観察がしづらい環境にある高校地学教育の現状において、こうした自然観察ができることは、野外観察を補完する意味で大きい。

火山地形の特徴はさまざまなものがあり、一概にその特徴を言い表すことは困難であるが、南九州の火山地形の特徴は、大規模なカルデラの発達とその周辺に存在する活火山の存在にあ

表5 2時間目の授業実施内容

桜島火山防災マップを活用した防災授業の実際					
本時の学習内容		火山防災マップ（火山防災マップ）を活用した桜島の火山噴煙活動			
時間	授業の流れ	主な発問・説明の概要	予想された反応・活動	教師の指導・支援	留意事項・評価基準
0	スタート導入	桜島火山防災マップに関する説明をする。		・桜島火山防災マップの見方を丁寧に説明する。	
15	火山防災マップの見方	①火山防災マップの必要性・目的の説明。 ②地図記号の説明。 ③溶岩分布の説明。 ④火砕流の説明。 ⑤前兆現象の説明。 ⑥避難手順の説明。 ⑦噴火警戒レベルと防災対応の説明。 ⑧過去の4大噴火の概要と近年の主な噴火活動の説明。 ⑨桜島の火山災害現象の説明。	①～⑩を理解する。		①～⑩をどの程度理解できたか。（特に用語の正確性。→火砕流、土石流、溶岩流、噴石、火山弾、火山ガス。）
25	大正大噴火の説明	⑩溶岩流の説明。 ⑪地震被害の様子。 ⑫被災者の移住。	災害を身近に感じる。	できるだけ写真等を活用する。（power point活用）	どの程度身近に感じる事ができたか。
40	火山ガスについて。	⑬火山ガスの高濃度事象が発生していることに関する説明。	火山ガスについて理解すると同時に環境基準値について理解する。	環境基準値やppm, ppb等の単位に習熟させる。	火山ガスについてどの程度理解できたか。
50	終了	⑭まとめ アンケートに答える。			

るといえよう。質問4で NIR 画像によってその特徴が観察できたかを問うと、88.1%の生徒が「よく理解できた」「比較的良好理解できた」と回答した。自由記述では「衛星画像を3D化することによって段丘面などがわかることに驚いた」というものが10.8%、「この技術は防災的

に有効である (11.8%)」, 「霧島連山は風化の程度によって形成された時代がわかる (1.5%)」
といった回答もあった。また「桜島は扇状地が発達しており, 土砂災害が多い地域であるこ
とが NIR 画像からわかった」とした生徒もいた。

質問 5 は, 南九州の火山地形について理解できたことをアンケート用紙に設置した記入欄に
自由に回答するものだが, 「南九州のカルデラ地形の周辺には必ず霧島連山・桜島・開聞岳と
いった活火山が存在している」という回答が全体の72.7%を占め, 南九州のカルデラ地形の特
徴がとらえやすかったことがわかる。また「加久藤・始良・阿多カルデラは北北東 - 南南西方
向に直線的に位置していることがわかった」と記述した生徒が12.9%存在した。

2 時間目の授業実施内容を表 5 に, その授業で使用した桜島火山を中心とした始良カルデラ
の NIR 画像を図14に示す。

2 時間目の授業を受けた生徒に対してのアンケート結果を表 6 に示す。

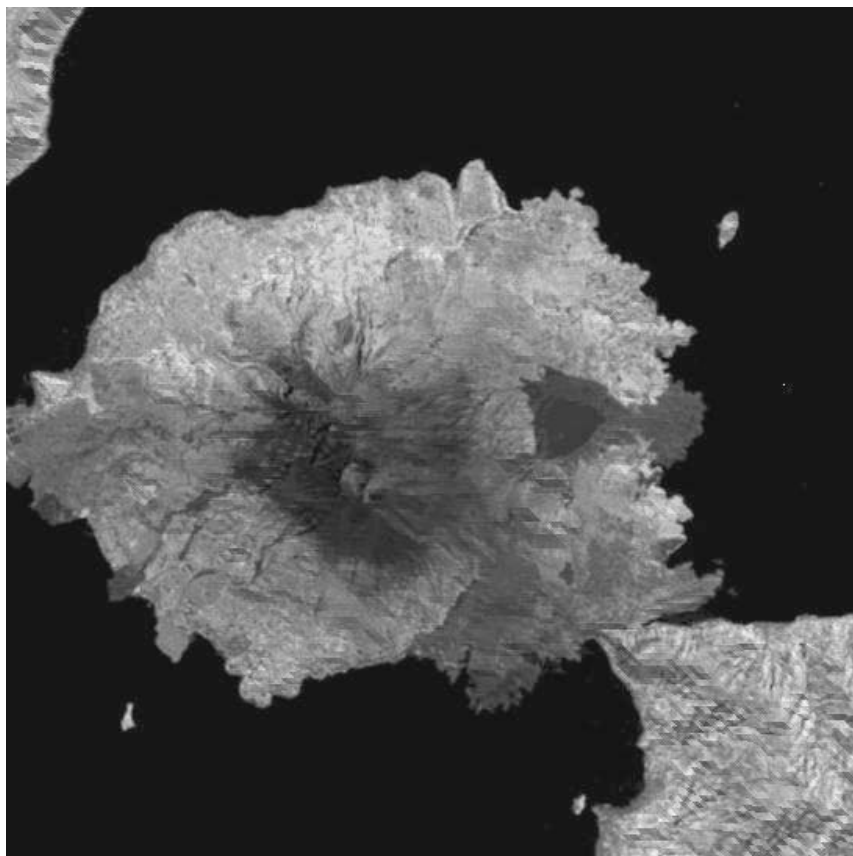


図14 授業で使用した桜島火山の NIR 画像

表6 2時間目の学習アンケート結果（防災授業を欠席した生徒及び、授業前のアンケートをしていない生徒のデータは除外してある）

		はい	いいえ	わからない
質問1	火山防災マップを知っていますか(%)	100.0	0.0	0.0
質問2	火山防災マップの大きさは適切ですか(%)	79.6	20.4	0.0
質問3	火山防災マップの内容を理解できましたか(%)	96.3	3.7	0.0
質問4	家族で避難方法について話し合いましたか(%)	100.0	0.0	0.0
質問5	防災訓練に参加するの必要を感じますか(%)	96.3	3.7	0.0
質問6	火山災害が発生した場合、自分自身は絶対に助かると思いますか(%)	7.4	74.1	18.5
質問7	火山防災マップは必要だと思いますか(%)	100.0	0.0	0.0
質問8	火山情報は必要だと思いますか(%)	98.1	1.9	0.0

質問3の火山防災マップの内容理解に対する回答は96.3%と、防災授業が火山防災マップを理解させるのに効果的であることがわかる。また質問4によって、防災授業を受けた後に家族で避難方法について話し合っていることがわかる。授業を受ける前では、避難方法について家族で話し合った経験を持つ生徒が22.2%であった（表1）が、授業を受けた後に全生徒が家庭で火山災害について話し合ったという授業成果は、家族のうち一人でも防災教育を受ければ、その世帯全体にその効果が波及する可能性が高いことを示している。次に、質問5の防災訓練の必要性については、96.3%の生徒が必要と答えている。火山災害は複合的災害であり、溶岩流・地震・津波・地割れ・火砕流・泥流・山体崩落などによってもたらされた複合的かつ多様な災害が想定される。一元的な火山災害イメージから脱却し、多様性のある災害に対して柔軟な対応ができるようになるためには多くの訓練が必要である。防災訓練に参加する必要性が認識されたことは、防災授業の成果であると思われる。

4. まとめと課題

本論文で行った火山・防災教育の授業実践例から、学校において各教室に備え付けてある情報機器を操作性の良いソフトウェアによって活用すれば、効果的な火山地形学習ができることがわかった。また本論文は、人間の視覚では検知されないために馴染みの薄いNIRによる画像と防災マップを活用した火山・防災教育の教育効果が、非常に高いものであることを明らかにした。これは情報機器が学校教育の中で大きく活用されている中で、今後大きく発展する可能性を秘めているといえよう。火山・防災に関する学習の際には、可視画像とNIR画像の特長に留意し、可視画像とNIR画像を併用することによって、より効果的な火山・防災学習が期待できる。またNIR画像は、火山地形だけでなく段丘・断層などの地形も教材として明確に表現することができ、教室にしながら郷土の地形野外観察活動を効果的に行うことができるものに発展する可能性を持っている。こうしたことから今後は、NIR画像・NIR 3D画像による教育成果を教育関係者などの間で共有・データベース化し、教育実践例を積み上げていくこ

とが大きな課題である。さらに NIR は水域には吸収されるために、画像上では水域と陸域の境界線を明確に見分けることができる性質を有する。植物のない裸地や都市域、海洋なども NIR の反射が少ないために黒く見え、その性質から植生の活力度などもはっきり理解することができる。火山地形教育や防災教育だけでなく、自然地理学や生態学、そしてそれらの教育的分野においても、その活用法の研究が必要である。

次に、本論文は、火山防災マップに関する高校生の認識が非常に浅く、これは防災的な観点からみると大きな問題点であることを明らかにした。一般市民が防災マップを詳細に読むことができる科学リテラシーを持っていないければ、国や地方自治体、研究者が意図する防災効果は得られない。東日本大震災でもみられたが、大きな災害時にはテレビや携帯電話・インターネットなど情報機器や回線が使用できなくなる場合が多く、その際は自己判断で避難しなければならない。そこでは集団の中でデマなどが発生しやすい状況が生まれ、被災者は大きな心理的困難に出会うことになる。今回の研究において、学校教育の中で NIR 画像と防災マップをあわせた火山防災授業をすることで、火山防災に対する正しい知識・技能を身につけさせ、防災訓練などへ積極的に参加しようという意識を持たせることができることがわかった。今後はこの研究を継続していくことで、教育効果がどのように向上するかを研究し続けたい。

高校教育の中で地学教育が行われることが少なくなって久しいが、こうした学校教育の中での防災教育は、小・中学校で広く、行われることが望ましい。小・中学生に対する防災教育の効果の研究や具体的方法の確立に関する研究が喫緊の課題である。

謝辞

今回の研究を進めるに当たって、鹿児島市立鹿児島玉龍中学校および鹿児島玉龍高校の生徒・教職員の皆様には多くの協力をいただきました。また鹿児島大学名誉教授の木下紀正先生ならびに鹿児島大学法文学部自然地理学研究室の森脇 広教授には、有意義なご示唆を数多くいただきました。そして二人の匿名査読者の方には、たいへん有益なコメントを戴きました。この場を借りて謝意を申し上げます。

引用文献

- 荒牧重雄 (1968) : 加久藤盆地の地質 - えびの・吉松地域の地震に関連して - . 地震研彙報, 46, 1325-1343.
- 千田 昇 (1979) : 中部九州の新期地殻変動 - とくに第四紀火山岩分布地域おける活断層について - . 岩手大学教育学部研究年報, 39(3), 37-75.
- 第四紀学会 (2011) : 高等学校理科 4 科目の開講についての要望書. 第四紀学会ウェブサイト <http://quaternary.jp/news3/education.html> (最終閲覧日: 2012年12月5日)。
- 独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター (2008) : 平成20年度中学校理科教師実態調査集計結果 (速報). 理科教育支援センターウェブサイト. <http://rikashien.jst.go.jp/> (最終閲覧日: 2012年12月1日)。
- 早川由起夫・宮永忠幸 (2008) : 中学理科で使う火山教材と野外観察の方法. 群馬大学教育学部紀要, 自然科学編, 56, 85-95.

- 林 信太郎 (2006) : 世界一おいしい火山の本 - チョココヤココアで噴火実験. 小峰書店, 東京, 127.
- 星住英夫・宇都浩三 (2000) : 雲仙火山の形成史. 月刊地球, 22, 237-245.
- 井村隆介 (1994) : 霧島火山の地質. 地震研彙報, 69, 189-209.
- 井上公夫 (1999) : 1792年の島原四月朔地震と島原大変後の地形変化. 砂防学会誌, 52, 45-54.
- 石原和弘 (2005) : 桜島の火山防災マップ, 月刊地球, 27(5), 396-399.
- 鹿児島市 (2010) : 桜島火山防災マップ (住民啓発型予測図).
<http://www.city.kagoshima.lg.jp/var/rev0/0045/7300/sakurahm.pdf> (最終閲覧日: 2012年12月5日)
- 木下紀正・富岡乃夫也・戸越浩嗣 (2005) : SiPSE による 3D 衛星画像の作り方と読み方. 古今書院, 126.
- 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 (2002) : 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.
- KINOSHITA, K., IKEBE, S. and ISOGAI, K. (1997) : Satellite Observation of volcanic Phenomena in Kyushu, Japan. Bull. Fac. Ed., Kagoshima Univ., Natural Sci. 48, 37-63.
- KOBAYASHI, T., ARAMAKI, S., WATANABE, T. and KAMADA, M. (1981) : Kirishima Volcano. Symposium on arc volcanism Tokyo and Hakone, Japan. Field excursion guide to Sakurajima, Kirishima and Aso Volcanoes, Volcaol. Soc. Japan, 19-32.
- 国土庁防災局 (1992) : 火山噴火災害危険区域予測図作成指針. 202.
- 越桐國雄 (2009) : 科学教育ポータルサイトの現状と課題. 大阪教育大学紀要, 第 V 部門, 57, 2, 151-161.
- 町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治 (2001) : 日本の地形 7, 九州・南西諸島, 東京大学出版会, 152.
- 松本徳夫 (1979) : 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. 地質学論集, 16, 127-139.
- 三次徳二 (2008) : 小・中学校理科における地層の野外観察の実態. 地質学雑誌, 114(4), 149-156.
- 宮入興一 (1993) : 災害問題と地域・自治体 自然的災害における被害の全体像と複合的被害構造の解明: 雲仙火山災害を事例にして . 経営と経済, 73(1), 23-93.
- 宮下 治 (1999) : 地学野外学習の実施上の課題とその改善に向けて - 東京都公立学校の実態調査から - . 地学教育, 52, 63-71.
- 文部省 (1999) : 高等学校学習指導要領解説, 理科編, 理数編. 大日本図書, 149-174.
- 文部科学省 (2008) : 中学校学習指導要領解説, 理科編. 大日本図書, 80-85.
- 文部科学省 (2009) : 高等学校学習指導要領. 文部科学省, 64-89.
- 中村 功・中森広道・廣井 脩 (2004) : 火山防災情報と住民意識, - 2003年御殿場・富士吉田住民アンケート調査より - . 月刊地球, 号外48, 169-174.
- 小野晃司 (1984) : 阿蘇火山 1 火砕流堆積物とカルデラ. アーバンクボタ, 22, 42-45.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) : 阿蘇火山地質図 1:50000. 火山地質図 4, 地質調査所.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・鎌田浩毅・町田 洋 (1996) : 中部九州のテフロクロロジー.

- 第5回第四紀学会テフラ研究委員会野外集会案内書, 62.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2006) : 最近の桜島火山活動と火山防災マップを活用した防災教育. 日本火山学会講演予稿集2006年度秋季大会, 106.
- 坂本昌弥・木下紀正・八田明夫・森脇 広 (2006) : 桜島火山防災マップを活用した防災教育. 日本理科教育学会九州支部大会発表論文集, 34, 17-20.
- 坂本昌弥 (2007a) : 2002-2003 年度における桜島火山 SO₂ ガス濃度と防災教育の必要性. 理科部会誌, 鹿児島県高等学校教育研究会理科部会, 48, 59-72.
- 坂本昌弥 (2007b) : SiPSE を活用した火山防災教育. 平成19年度全国地学教育研究大会・日本地学教育学会第61回全国大会島根大会講演予稿集, 120-121.
- 坂本昌弥 (2007c) : 桜島火山に関する防災教育の現状と課題. 鹿児島県地学会誌, 93, 3-13.
- 坂本昌弥・木下紀正・八田明夫・森脇広 (2006) : 桜島火山防災マップを活用した防災教育. 日本理科教育学会九州支部発表論文集, 34, 17-20.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2010) : 3D 衛星画像を教材とした高等学校地学教育. 平成22年度全国地学教育研究大会, 日本地学教育学会第64回全国大会鹿児島大会講演予稿集, 98-99.
- SAKAMOTO, M., KINOSHITA, K., TOMIOKA, N. and TOGOSHI, H. (2007) : School Education for Volcanic Disaster Mitigation using 3D Satellite Image Presentation System SiPSE. Cities on Volcanoes 5 Conference, Nov. 2007, 32-P-17.
- 城下英行 (2012) : 東日本大震災と防災教育. 社会安全学研究, 2, 44-45.
- 杉本伸一・長井大輔 (2009) : 雲仙火山1991年6月3日の火砕流による人的被害. 九大理研報 (地球惑星), 22(3), 9-22.
- 杉本智彦 (2002) ; カシミール 3D 入門 山と風景を楽しむ地図ナビゲータ. 実業之日本社, 144.
- 数研出版 (2010) : 改訂版高等学校地学 , 地球と宇宙. 数研出版, 74-77.
- 戸越浩嗣・富岡乃夫也・木下紀正 (2000) : 数値標高モデルと衛星データを用いた教育用3次元動画像表示提供システムの構築. 鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要, 10, 85-92.
- 露木利貞 (1969) : 九州地方における温泉の地質学的研究 (第5報), 鹿児島地溝内の湧出する温泉, 特に温泉貯留体について. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), 2, 85-101.
- 矢部長克 (1926) : 第三紀及其直後に於ける九州地史の概要. 地理学評論, 2(1), 1-16.