

阿蘇火山噴煙の探究学習のための教材化

飯野直子*¹

Teaching material development of Aso volcanic clouds for inquiry learning

Naoko Iino

(Received September 30, 2019)

The purpose of this study is to develop the teaching materials of Aso volcanic clouds for inquiry learning by using the public information and data. The latest eruptive activity of Aso volcano started in November 2014. The ground observation of Aso volcano has been performed since May 2009 by using network camera from the Aso Volcano Museum located in 3 km west from the Nakadake crater. The obtained images are archived automatically every one hour in daytime, and published through the internet. In addition, we analyzed the horizontal diffusion of volcanic clouds during 25 November 2014 to 16 April 2016 by using Terra/MODIS and/or Aqua/MODIS data, and constructed the satellite image database. The day the volcanic clouds could be seen clearly, the time-lapse movies based on the 5-min-interval ground observation images also published on the database site. Here, we show the analysis of the volcanic event on 27 November 2014 by using our data and the other public intuition's data and systems for as a sample of inquiry learning.

Key words : volcanic ash, satellite image, sulfur dioxide, suspended particulate matter, NOAA HYSPLIT trajectory, ICT

1. はじめに

2017年に告示された小中学校学習指導要領では、理数教育の充実として、小中学校理科における自然災害に関する内容の充実が図られている [1, 2]。これまでも理科は自然災害発生メカニズムの理解の部分を担ってきたが、今後は各単元における基礎的事項の学習が自然災害と明確に関連付けされることによって、火山や地震、気象についての理解が深まるとともに、自然現象と地域の自然災害との関係まで認識できるようになることが期待される。

中学校学習指導要領解説理科編 [2] では、第1学年の火山災害と第3学年の地域の自然災害に関する学習で「ハザードマップなど」の活用が記述されている。公的機関が公開している情報を教材として利用する場合、火山ハザードマップは、防災科学技術研究所の火山ハザードマップデータベース [3] のページから全国の火山のハザードマップへアクセス可能で、ファイルを手に入れる。その他にも火山に関しては、2014年の御嶽山噴火後に気象庁が作成した、火山登山者向けの情報提供ページ（全国） [4] において、火山毎に、気象庁が発表している火山情報等（火山の概要や過去

の火山活動、最近の火山活動、噴火警戒レベル、火山防災マップ等、関係官署へのリンクなど）が提供されている。生徒にとって身近な火山の資料を効率的に入手したり、授業で活用したりできると思われる。地域のハザードマップは、国土交通省のハザードマップポータルサイト [5] の「わがまちハザードマップ」のページから地域のハザードマップにリンクされており、ファイルを手に入れる。「重ねるハザードマップ」のページでは、洪水・土砂災害・津波リスクや標高・地形、土地の特徴・成り立ちといった情報がGIS（地理情報システム）によるWebマップとしてシームレスに表示される。「わがまちハザードマップ」「重ねるハザードマップ」それぞれについての簡潔な操作マニュアルも用意されているので、ネットワーク環境と端末を用意できれば、児童生徒がそれぞれの関心領域についての情報を調べる活動で利用できる。中学校学習指導要領解説理科編 [2] では、「ハザードマップ」以外に、「緊急地震速報」「噴火警戒レベル」「気象庁が発表する各種情報や警報」などを取り上げるという記述がある。これらについては、気象庁のサイトの知識・解説のページ [6] の情報や刊行物・レポートのページ [7] で提供されているリーフレットや動画などのファイルが教材として有用であると思われる。

2018年に告示された高等学校学習指導要領でも理数教育の充実が図られている。理科を学ぶ意義や有用性の実感、理科への関心を高めるといった観点から、日常生活や社会、安全性向上への理科の寄与や職業との関わりに触れたり、探究する学習活動を充実させるために学習指導の改善が図られたりしている[8]。理数科には「理数探究」及び「理数探究基礎」が新設された[9]。高等学校学習指導要領理科編理数編[8]では、「科学と人間生活」、「基礎地学」、「地学」、「理数地学」において自然災害に関する記述がある。また、「科学と人間生活」や「理数探究基礎」では、地域の自然災害と防災に関する探究が課題の例としてあげられている。高等学校における学習でも、先に述べた公的機関が提供している資料や情報が教材として有用であると考える。さらに高等学校では、自然災害の発生要因となる自然現象についての深い理解に地域の地質や地形、気候などの特性の視点を加えた災害予知や防災に関する探究的な学習が求められるため、防災科学研究所の自然災害情報室の資料が役立つと考える。特に、自然災害を学ぶ[10]のページの「防災科学テキスト—自然災害の発生機構・危険予測・防災対応—」（自然災害と防災の全体を扱っている、一般向け46ページのコンパクトな学習用資料）や「防災基礎講座：地域災害環境編」（日本各地の主だった50地域について、具体的に自然環境・社会要因・災害履歴などの概要が整理されている）が有用であると思われる。これらを用いた学習を踏まえて、生徒にとって身近な地域の地質・地形や気候に関する情報を自ら得て予測される自然災害と防災減災について検討し、公開されているハザードマップおよび気象庁から提供されているリアルタイムの防災情報や各種データ・資料も加えて探究的、教科横断的に検討することによって、自然事象に対するより深い理解が図られたり、災害発生時に自ら適切に判断、行動する力や防災力が育成されることが期待できる。

ここまでは、公的機関によって提供されている資料やWebマップなどの教材利用の可能性について述べてきた。ここからは、日常的な火山防災の観点から、火山噴煙や火山ガスなどが日常・社会生活に影響を及ぼした、近年の顕著な阿蘇火山噴煙活動について、公的機関が提供している専門的な資料やデータを入手して、調べたり処理したりする活動を伴う探究的な学習のための教材化について述べる。

2. 最近の阿蘇山中岳の噴煙活動と影響

阿蘇山中岳（北緯32度53分01秒、東経131度05分49秒、標高1506m）の噴火活動にはおよそその規

則性があることが知られている。それは、湯溜まり状態から湯溜まりの減少、土砂噴出、火口底赤熱、噴煙活動（灰噴火）、火炎現象を経てストロンボリ式噴火および爆発的な噴火（水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発）を経て、噴煙活動が低下、終息して、湯溜まり状態へという変化である[11]。

最近の顕著な噴煙活動としては、2014年11月25日に中岳第一火口で21年ぶりとなる本格的な噴火活動（マグマ噴火）が発生した[12]。27日には熊本市内を含む中岳第一火口西側の広い範囲で降灰が確認され、中岳の西、約20kmに位置する熊本空港を発着する航空便の欠航や目的地変更が相次いだ。一連の噴火は翌年（2015年）5月21日まで続いた。

2015年9月14日9時43分の噴火では、小規模な比較的低温の火砕流を伴い、大きな噴石が火口周辺に飛散した。この噴火により、気象庁が平成27年（2015）年8月から運用を開始した噴火速報がはじめて発表された。一連の噴火は10月23日まで継続した[13]。このときの噴火に伴う降灰や火山ガスの影響のため、阿蘇山上の阿蘇山特別地域気象観測所では気象観測障害が発生し、9月14日9時58分から12月16日13時31分まで地上観測が休止となった。阿蘇山周辺の観測体制を維持するために南阿蘇地域気象観測所が臨時に新設され、2015年1月16日17時30分から運用開始された。

2016年10月8日1時46分に36年ぶりの爆発的噴火（マグマ水蒸気噴火）が発生し、気象衛星ひまわり8号による観測で海拔11,000mまで噴煙が上がり、熊本県、大分県、愛媛県、香川県、岡山県で降灰が確認された[14]。火山活動の影響によって、同日7時32分から阿蘇山特別地域気象観測所における観測が休止となった。その後、翌年（2017年）1月18日13時30分から観測が再開されたが、最終的には、2014年から活発化した噴火の影響によって2017年12月11日14時をもって、86年にわたる阿蘇山上における地上気象観測は終了されることとなった。現在、地上気象観測は常設化された南阿蘇地域気象観測所で行なわれており、阿蘇山上では火山活動の観測のみが継続されている。

2016年10月8日の噴火後、2019年4月16日18時28分のごく小規模な噴火まで噴火は観測されなかったが、それ以降、2019年9月現在も火山活動が高まった状態が続いており、気象庁による「定時」の降灰予報に加えて、降灰への防災対応が必要となる「やや多量」以上の降灰が予想された場合の「速報」やより精度の高い「詳細情報」が随時発表されている。2019年9月末現在、同年7月26日7時57分から小規模な連続噴火が継続しており、8月と9月には熊本

市内の熊本地方気象台で降灰が観測された。9月17日7時から翌日4時まで降灰が観測されたときは、熊本空港を発着する航空便の欠航や目的地変更といった影響が出た。

なお、降灰や小さな噴石による日常生活や社会活動への影響は、交通障害の他に、農作物被害や商工業・ライフラインへの影響、健康被害など多岐にわたる。気象庁による「降灰予報」のリーフレット [15] には、実際の噴火実例や想定から、降灰の影響と降灰量の関係が分野ごとに表に示されており理解の助けになると思われる。現在、定時の降灰予報は浅間山、草津白根山、阿蘇山、桜島、口永良部島、諏訪之瀬島の6火山について発表されている。

3. 使用データおよび解析方法

近年の顕著な阿蘇山中岳の噴煙活動として上述した3つの時期のなかでは、2014年11月から翌年5月まで続いた噴火活動期間中に活発な噴煙活動が頻繁に見られた。雲の影響が少なく噴煙の挙動を観察しやすい、教材化に適した噴煙活動が地上映像や衛星によって多く記録されている。そのため、本稿ではこの期間の噴煙活動を教材化の対象とした。

3.1 衛星データ

噴煙の水平方向の移流や拡散の様子を調べるために、衛星データは、NASAのLANCE Rapid Response - Near Real Time (Orbit Swath) Images [16] で Quick Look 画像を確認後、リンク先の LAADS Archive から2014年11月25日から2016年4月16日までの Terra (10時頃)・Aqua (14時頃) / MODIS の Level-1B の hdf 形式ファイルをダウンロードして使用した。受信後概ね9日経過したデータは、登録者でなくても無料でダウンロードできる。画像化の処理はウィスコンシン大学が提供しているフリーソフト HYDRA2 [17] を用いて行なった。ダウンロードした全シーンについて500 m 空間分解能の True color 可視画像 (肉眼で見える色合いの画像) を作成した。火山灰を多く含む灰煙が見られる場合は、1 km 空間分解能の熱赤外差画像 (band32-band31) を作成した。白く薄い噴煙が見られる場合は、250 m 空間分解能の可視近赤外差画像 (band1-band2) も作成した。ホットスポット (高温域) の検出をねらって、中間赤外画像 (band20) も作成した。

ここで、火山灰の検出に有用な熱赤外差画像とは、スプリットウィンドウ (split-window) バンドとよばれる11ミクロン帯と12ミクロン帯の差分をとることにより得られる画像である。火山灰煙や黄砂を可視化

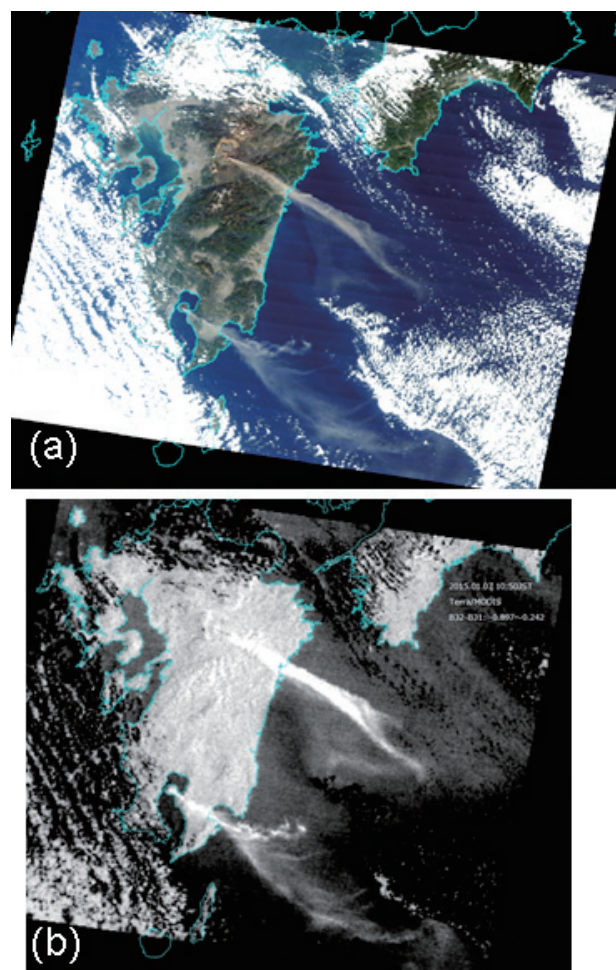


図1 2015年1月7日 10時50分の Terra/MODIS
(a) True color 可視画像, (b) 熱赤外差画像

する際に広く用いられている。検出原理を簡単に述べると、火山性硫酸エアロゾルや石英物質は、11ミクロン帯と12ミクロン帯における氷晶や水滴とは反対の消散特性を持つため、バンド間演算により差画像を作成することによって、雲と噴煙との区別が容易になり、火山灰煙の検出に有効である。熱赤外差画像で、噴煙は明るく、雲は暗く表示される。2015年1月7日10時50分の True color 可視画像と熱赤外差画像を図1の(a)と(b)に示す。阿蘇と桜島から南東方向へ200 km を超えて流れる噴煙が捉えられている。図1(a)より、白い気象雲と火山灰を含む噴煙の色の違いがよくわかる。また、図1(b)もあわせてみると、桜島噴煙よりも阿蘇噴煙の方が火山灰を多く含んだ濃い噴煙であることがわかる。

一方、火山灰をあまり含まない白っぽい噴煙の場合、雲と噴煙 (火山性硫酸エアロゾル) の粒径に違いがある場合や植生域上を移流する場合に、可視と近赤外の差画像を作成することによって噴煙領域を検出できる場合がある [18]。また、MODIS の可視と近赤外バンドは250 m 空間分解能データを利用できるため、1

km 空間分解の熱赤外面像では検出が難しいような規模の小さな噴煙でも捉えられることがある。なお、MODIS は火山ガス（二酸化硫黄）の吸収域である 8.5 ミクロン帯（band29）も有しているが、今回対象とする期間の噴煙規模では検出が難いため使用しなかった。

3.2 阿蘇観測カメラ画像

著者が熊本県内に展開しているネットワークカメラによる観測網の一地点として、2009年5月より阿蘇山中岳第一火口の西、約3 kmに位置する阿蘇火山博物館にネットワークカメラを設置して、阿蘇山中岳がみられる東の方向を5分毎に撮影している（図2中のAs）。教育・研究用の素材提供を目的として、日中の1時間1枚の画像を自動アーカイブして公開している[19]。これらの画像から、噴煙の色や高さ、移流方向を調べることができる。また、噴煙活動の活発さの程度も概ね把握することができる。

2014年11月25日以降は、3.1で述べた衛星データで噴煙が明瞭に捉えられた日について、5分毎に撮影した静止画をもとに2400倍速再生のタイムラプス動画（mp4形式）を作成し、衛星画像とあわせてデータベースを作成した[20]。

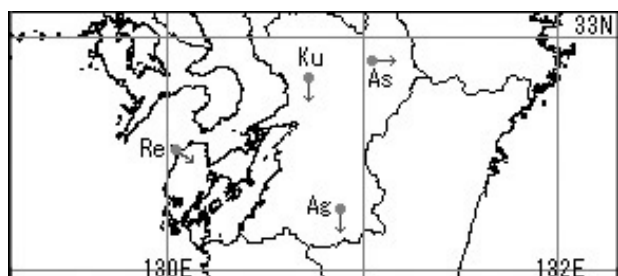


図2 阿蘇映像観測カメラ（As）の位置

3.3 前方流跡線

阿蘇山中岳第一火口から放出された噴煙や火山ガスがその後どのように移流拡散するのかを調べるために、ホームページ上に公開されている流跡線解析プログラムを用いて前方流跡線解析を行なった。ここで使用した HYSPLIT model とは、NOAA（アメリカ海洋大気局）Air Resources Laboratory（ARL）によって開発された Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model である。大気科学の研究で最もよく利用されている大気輸送拡散モデルのひとつで、空気塊の軌跡を計算することができる。HYSPLIT には ARL の READY（Real-time Environmental Applications and Display system）からダウンロードしてパソコンにインストールして計算するバージョンと Web 上で対話的に計算を行なうことができるバージョンがある

[21]。本稿では、登録やダウンロード不要でオンラインで利用できる HYSPLIT-WEB（Internet-based）のなかの Trajectory model の Compute archive trajectories を利用した。

流跡線の計算手順を簡単に述べる。入力画面は3画面ある。最初の画面で、流跡線の開始位置の数（最大3ヶ所）とタイプを指定する。ここではデフォルトの開始位置「1」、タイプ「Normal」のままとした。次の画面で、気象データと流跡線の開始位置を指定する。気象データは全球客観解析システムの「GDAS（0.5 degree, global, 09/2007-06/2019）」を選択し、解析対象日のデータセットを指定した。世界時（UTC = 日本時 JST - 9 時間）で指定することに注意が必要である。流跡線の開始位置は地図上で阿蘇中岳の位置を指定した。緯度経度を数値入力することも可能である。3番目の画面で計算条件や出力条件を入力する。計算条件を入力する画面を図3に示す。以下では画面上部から順に入力方法を述べる。

本稿では、ある時刻に阿蘇火山から放出された物質がどのような経路をたどって移動したのかを調べるために前方流跡線を計算するので「Forward」を選択した。鉛直運動はデフォルトの「Model vertical velocity」を選択した。気象データからモデルによって求められた鉛直速度場が使われることになる。次にスタート時刻を指定する。ここも世界時（UTC）であるので注意が必要である。流跡線の計算時間（放出後何時間先まで計算するか）を時間単位で入力する。一定時間間隔ごとに放出された物質の軌跡を計算する場合は、新しい流跡線を何時間毎に計算するか指定する。流跡線最大本数もここで指定する。最後に流跡線の出発高度を

図3 NOAA HYSPLIT 流跡線計算条件入力画面

指定する。出発高度は m (メートル) で指定する。気圧では指定できない。高度の指定時に、モデル地表面レベル (AGL) か平均海面レベル (AMSL) かを選択する。平均海面レベルで入力してもモデル地表面レベルに変換されて計算されるので、本稿では、阿蘇観測カメラ画像で確認できる噴煙高度をそのまま入力値として「AMSL」モードで出発高度を指定した。出力のオプションは基本的にデフォルトのままでも問題ないが、本稿では流跡線上の 1 時間毎の位置をプロットで明示するように Label Interval をデフォルト値の 6 hours から 1 hour に変更した。ページ内の「Request trajectory」ボタンを押すと計算が始まる。計算結果は、GIF plot と PDF plot で得られる。なお、出力のオプションで GIS 出力として Google Earth を選択すると、Google Earth、Leaflet Maps の 2 種類も得られる。

3.4 大気環境データ

日本国内の大気汚染の常時監視は、環境省の環境大気常時監視マニュアルに沿って、都道府県および政令市によって実施されている。窒素酸化物、浮遊粒子状物質や二酸化硫黄、一酸化炭素、光化学オキシダント、微小粒子状物質などが自動測定されている。測定結果の 1 時間値 (速報値) は、インターネットを通して、環境省大気汚染物質広域監視システム (愛称: そらまめ君) [22] で公開されている。全国各地の濃度分布図や数値データの表が利用できる。直近 1 年分の 1 時間値 (速報値) をダウンロードすることもできる。また、2015 年度以降の速報値を地図化した画像が国立環境研究所の環境 GIS そらまめ君ギャラリー [23] にアーカイブされている。なお、データスクリーニングを経て確定された確定値は、概ね 2 年後中に国立環境研究所の環境数値データベース [24] に追加されて利用可能になる。データの区切りは年ではなく年度 (4 月から翌年 3 月まで) である。本研究の予備解析は速報値を用いて行ったが、本稿では 2014 年度の熊本県の確定値をダウンロードして時系列グラフを作成した。

4. 教材化

4.1 データベース

探究的な学習で生徒が阿蘇火山活動の推移を確認したり、噴煙活動について詳しく調べる対象事例を見つけやすくするための工夫として、データベースはカレンダー方式を採用した。図 4 の左のフレーム内のカレンダーの日付をクリック (タップ) すると、右のフレームに衛星画像および噴煙が明瞭に捉えられている日の地上観測のタイムラプス動画を表示するようにしてい



図 4 阿蘇中岳噴煙の衛星画像データベース
小規模火砕流が発生した 2015 年 9 月 14 日

る。

火山活動や画像の見易さがわかるように、カレンダー枠内を色分けしたり、火山活動や画像の見え方の特徴を漢字一文字でカレンダー枠内に表記した。カレンダー枠内の色が「水色」は噴煙が明瞭に見えていた日、「緑色」は薄い噴煙が見えていたり、日内の噴煙の流向変化が大きかった日を表している。漢字については、「小」は小規模な火山灰煙、「向」は日内流向変化、「桜」は桜島の噴煙が見られた、「雲」は雲が多いシーンを表している。また、カレンダーの上部や下部には、気象庁が発表した阿蘇火山の活動状況などを一言メモとして記している。

4.2 探究事例

先に述べたように、2014 年 11 月 27 日は熊本市内を含む阿蘇山中岳第一火口西側の広い範囲で降灰が確認され (図 5 中の赤丸、[12] より引用)、中岳の西、約 20 km に位置する熊本空港を発着する航空便の欠航や目的地変更が相次いだ。図 6 に示す同日 10 時 55 分の MODIS の True color 可視画像 (a) と熱赤外差画像 (b) でも阿蘇山の西方に火山灰が広がっている様子が捉えられている。この日の日中の阿蘇観測カメラ画像を図 7 に示す。朝から夕方にかけて、噴煙の移流方向が南西から西、北、北東へと変わっていった様子がわかる。また、午前中は火山灰を多く含む灰色の噴煙が西方へ、午後からは白っぽい噴煙が北東方向へ流れていたこともわかる。データベース [20] に掲載しているタイムラプス動画を見ると移流方向が時計回りになめらかに変化する様子がとてもよく捉えられている。また、12 時 30 分頃に噴煙の色が灰色から白色に急に変化したこともわかる。

同日 5 時から 10 時まで 1 時間ずつ放出開始時刻を遅らせて、阿蘇山中岳上空の平均海面上 1900 m に放出された物質の移動軌跡として、それぞれ 10 時間先

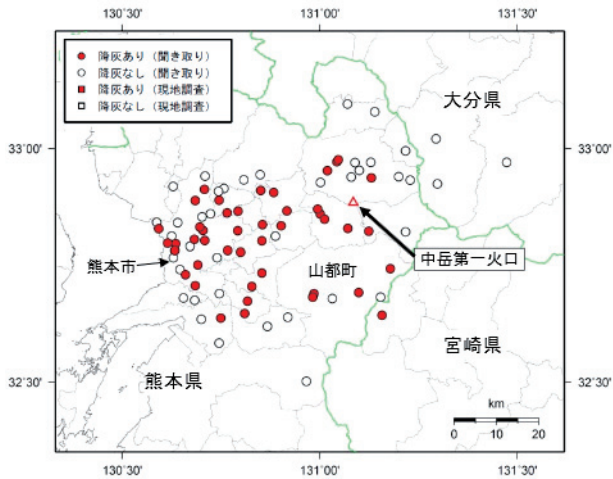


図5 2014年11月27日の降灰 [12] より引用

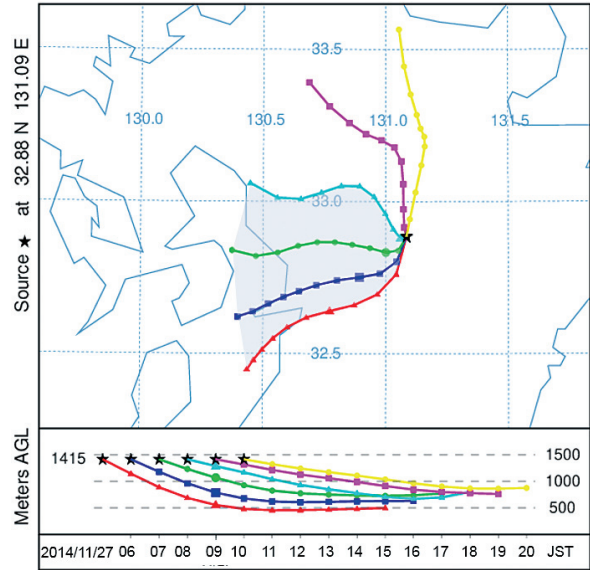


図8 2014年11月27日の前方流跡線 (GIF plot)

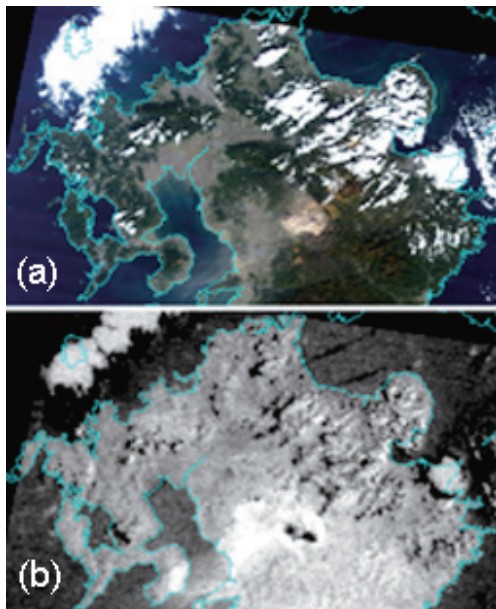


図6 2014年11月27日10時55分のTerra/MODIS
(a) True color 可視画像, (b) 熱赤外差画像

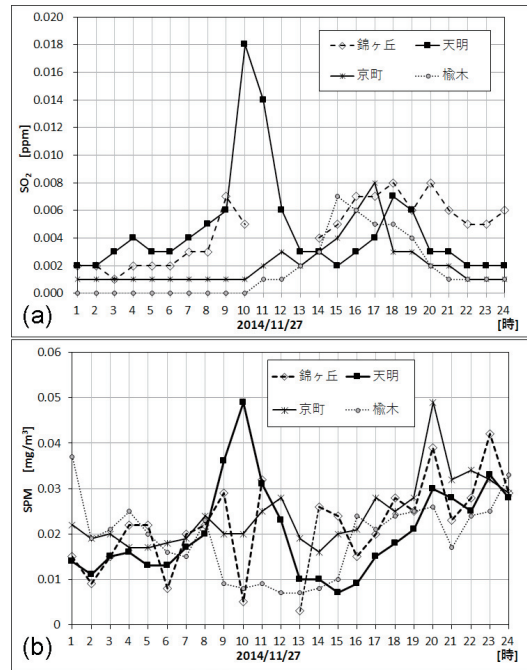


図9 2014年11月27日の熊本市内4箇所の二酸化硫黄濃度と浮遊粒子状物質濃度の時間変化

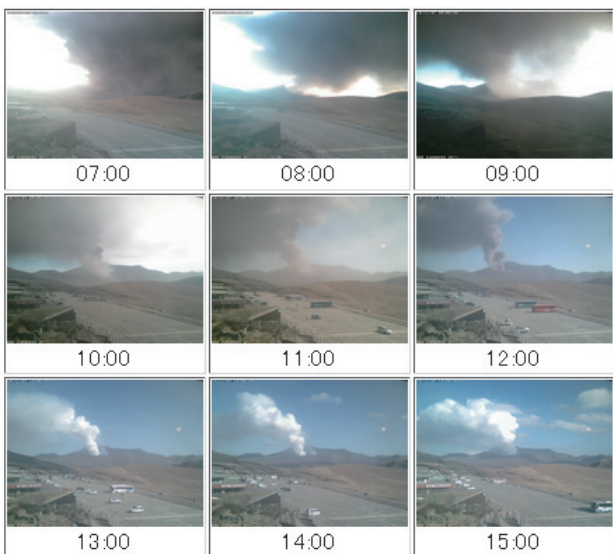


図7 2014年11月27日の日中の阿蘇噴煙画像

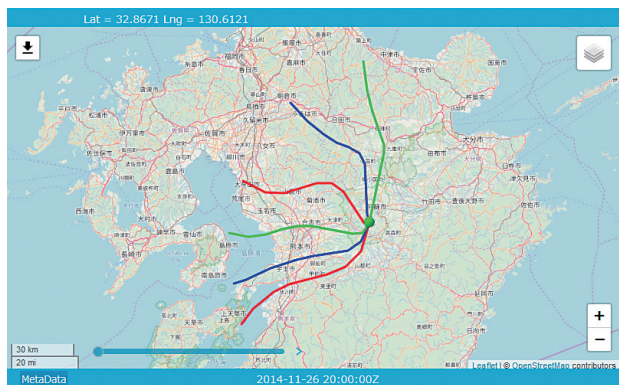


図10 2014年11月27日の前方流跡線 (Leaflet Map)

まで計算した前方流跡線を図8に示す。赤色、青色、緑色、水色、紫色、黄色の順に5～15時、6～16時、7～17時、8～18時、9～19時、10～20時の流跡線である。各線上のプロットは、放出後1時間毎の位置を表している。流跡線は阿蘇観測カメラで捉えられていた噴煙の流向が南西方向から北東方向へと時計回りに変化していた観測事実とよく対応している。流跡線の広がり、図5の降灰が確認された領域との対応からもうなずける。5時から8時の間に放出された物質が夕方までに通過したと考えられる、図8の灰色の領域が熊本市と重なることから、この時間帯に放出された火山灰がこの日に熊本市内で観測されたのではないかと考えられる。図9の熊本市内4ヶ所(東区・錦ヶ丘局、南区・天明局、北区・楡木局、中央区・京町局)における二酸化硫黄濃度と浮遊粒子状物質濃度が環境基準を超えるほどではないものの、4局がほぼ同時に午後から増加していることから、ローカルスケールの地域起源というよりもメソスケールの阿蘇山中岳からの輸送による火山活動の影響が熊本市内広範囲の環境大気でみられたと考えることができるだろう。出力オプションの設定画面でGoogle Earthをチェックしておく、Google Earth上で流跡線を表示できるkmlファイルがダウンロードできる。また、図10のようにNOAAのサイトのLeaflet Map上に流跡線が表示されるため、流跡線が通過している地域名を確認するのに便利である。なお、日本の地名は日本語表記されている。

このように、前方流跡線を計算することによって、降灰の範囲や火山から放出された物質による大気環境への影響の日時や場所の検討を行うことができる。ここで、流跡線解析結果の見方や解釈において注意しなければならないのは、流跡線は衛星画像の噴煙形状を直接再現したものではないという点である。流跡線はある時刻に放出された物質の移動軌跡が表現されている画像であるのに対して、一方の衛星画像に示される噴煙は、衛星観測時刻までに放出された火山灰等が衛星観測時刻に到達したそれぞれの位置を表す流脈線に対応するものである。非定常流の場合は流跡線と流脈線は一致しない。念のためにさらに述べておきたいのは、ある地域において、高濃度エピソードが発生した事例の発生源を調べる場合は、後方流跡線を用いることが一般的であるということである。この解析方法については、2008年に熊本で発生した光化学オキシダント高濃度事象の解析例[25]を参照されたい。

5. おわりに

探究的な学習で利用可能な、専門的なデータがイン

ターネットを通して容易に手に入れられる環境が整ってきている。膨大なデータのなかから必要なデータを選択・入手して解析・解釈する活動は、情報活用能力の向上にも役立つものと考えられる。

本稿では衛星画像による火山噴煙の検出・可視化にTerra・Aqua / MODISのデータを使用した。これらは極軌道衛星であるため、一日2回の観測に限られる。2015年7月7日以降は、静止気象衛星ひまわり8号(Himawari-8)のデータや画像が利用可能になっている。同様の気象観測機能を有する前身の運輸多目的衛星MTSATに比べて、観測バンド数や空間分解能、観測頻度等大幅に性能が向上しており、あまり規模の大きくない火山噴火についても捉えやすくなった。さらに、インターネットを介して、容易に衛星データや画像の一般利用を行うことができるサイトも用意されている。特に日中の可視画像については、データ処理を必要とせずオンラインで画像を利用できることや、画像の解釈が容易であるため、小学生や中学生でも利用しやすいと思われる。今後は、Himawari-8のデータや画像を用いた火山噴煙の教材化に取り組んでいく予定である。

謝 辞

阿蘇火山映像観測は、熊本大学・阿蘇火山博物館・包括連携協定事業の一環として行なっています。阿蘇火山博物館のご協力に感謝いたします。阿蘇火山噴煙の映像観測、衛星データ解析およびデータベース作成について、元熊本支援学校の金柿主税氏に心より感謝いたします。本研究はJSPS科研費24501061、15K00924 および18K02982の助成を受けたものです。

文献・URL

- [1] 文部科学省, 小学校学習指導要領(平成29年公示)解説理科編, 東洋館出版社, 2018.
- [2] 文部科学省, 中学校学習指導要領(平成29年公示)解説理科編, 学校図書, 2018.
- [3] 防災科学技術研究所, 火山ハザードマップデータベース: <http://vivaweb2.bosai.go.jp/v-hazard/>
- [4] 気象庁, 火山登山者向けの情報提供ページ(全国): http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/activity_info/map_0.html
- [5] 国土交通省, ハザードマップポータルサイト: <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- [6] 気象庁, 知識・解説: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menuknowledge.html>
- [7] 気象庁, 刊行物・レポート: <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/index.html>

- [8] 文部科学省, 高等学校学習指導要領 (平成 30 年公示) 解説 理科編 理数編, 実教出版, 2019.
- [9] 文部科学省, 高等学校学習指導要領 (平成 30 年公示) 解説 理数編, 東京書籍, 2019.
- [10] 防災科学技術研究所, 自然災害情報室, 自然災害を学ぶ: <http://dil.bosai.go.jp/workshop/>
- [11] 渡辺一徳, 阿蘇火山の生い立ちー地質が語る大地の鼓動ー, 一の宮町史自然と文化阿蘇選書 7, 一の宮町, 241p, 2001.
- [12] 福岡管区気象台火山監視・情報センター, 阿蘇山の火山活動解説資料 (平成 26 年 11 月): http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/14m11/503_14m11.pdf
- [13] 福岡管区気象台火山監視・情報センター, 阿蘇山の火山活動解説資料 (平成 27 年 9 月): http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/15m09/503_15m09.pdf
- [14] 福岡管区気象台火山監視・情報センター, 阿蘇山の火山活動解説資料 (平成 28 年 10 月): http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/16m10/503_16m10.pdf
- [15] 気象庁, リーフレット「降灰予報」: <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kouhai/kouhai2016.pdf>
- [16] LANCE Rapid Response-Near Real Time (Orbit Swath) Images: <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>
- [17] Community Satellite Processing Package: http://cimss.ssec.wisc.edu/cspp/npp_hydra2_v1.0.shtml
- [18] Naoko Iino, Kisei Kinoshita, Andrew Tupper and Toshiaki Yano, Short-wave and mid-infrared imagery to distinguish silicate dusts and volcanic aerosols from meteorological clouds, Proc. SPIE Vol.5652, Passive Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Clouds IV, pp. 48-56, 2004.
- [19] 飯野直子・金柿主税, 定点観測映像の防災・気象教育における利用, 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.24, No.2, pp.45-48, 2009.
阿蘇草千里カメラ画像アーカイブ:
<http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/volc/aso/>
- [20] 金柿主税・飯野直子, 阿蘇中岳噴煙の映像・衛星画像データベース, 日本地学教育学会第 69 回全国大会福岡大会講演予稿集, 128-129, 2015.
阿蘇中岳噴煙の衛星画像:
<http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/sat/aso/>
- [21] NOAA Air Resource Laboratory, HYSPLIT : <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/>
- [22] 環境省, 大気汚染物質広域監視システム:
<http://soramame.taiki.go.jp/>
- [23] 国立環境研究所, 環境 GIS そらまめ君ギャラリー:
<http://tenbou.nies.go.jp/gis/realtime/soramame.html>
- [24] 国立環境研究所, 環境数値データベース:
<https://www.nies.go.jp/igreen/>
- [25] 飯野直子・平田達二郎・金柿主税, 熊本における 2008 年光化学オキシダント高濃度事象, 熊本大学教育学部紀要, 自然科学 59, pp.19-28, 2010.
http://reposit.lib.kumamoto-u.ac.jp/bitstream/2298/17592/1/KN0059_019-028.pdf

URL は 2019 年 9 月 30 日に確認。