

# 探究学習における静止気象衛星ひまわりの利用

－ 2020年8月2～7日のPM<sub>2.5</sub>高濃度事象－

飯野直子<sup>\*1</sup>

## Utilization of the geostationary meteorological satellite Himawari for inquiry learning

－ In the case of high PM<sub>2.5</sub> concentrations observed during 2-7 August 2020 －

Naoko Iino

(Received September 30, 2020)

In order to investigate the possibility of the geostationary meteorological satellite Himawari for inquiry learning, the high PM<sub>2.5</sub> concentration event observed during 2-7 August 2020 in Kyushu and Okinawa was examined by using the geostationary meteorological satellite Himawari images, meteorological data, atmospheric data, and ground-based timelapse pictures. The following results were obtained. The time-series Himawari visible imagery is useful for the investigation of Nishinoshima volcanic ash clouds ejection degree and their advection. In addition, the aerosol optical thickness images by the JAXA geophysical parameters products and by the MRI/JMA model products are very useful to understand the volcanic aerosol behaviour.

**Key words:** Nishinoshima, volcanic ash, aerosol, Kyushu, Okinawa, Atmospheric environment, visibility, ICT

### 1. はじめに

平成29年(2017)年告示の小中学校学習指導要領[1, 2]や平成30年(2018)年告示の高等学校学習指導要領[3]では、平成20年、平成21年告示の学習指導要領から引き続き、探究的な学習の充実、日常生活や社会との関連の重視の考えに基づいた理科の改善が行われている。また、今回の改定で重視されている「主体的・対話的で深い学び」を実現するうえで、理科の見方・考え方を働かせながら理科の学習で習得した知識・技能を日常生活における課題に適用し、研究機関等が公開しているデータを検索・収集して探究的に解決していく学習活動のテーマを開発することは意義があると思われる。探究学習において、課題解決のために必要な情報を探して利活用することによって、学習の基盤となる資質・能力の一つである情報活用能力の育成や情報リテラシーの向上にもつながると考える。

ここでは、一般的には太平洋高気圧に覆われて清浄な空気が支配的であることが多い夏季に九州・沖縄地域の広い範囲で高濃度の微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) が

観測された2020年8月初旬の高濃度事象を対象として解析を行い、PM<sub>2.5</sub>の原因物質の起源を探究するときに利用可能な公的機関によるオープンデータに関する情報やその利用について検討する。

### 2. 静止気象衛星ひまわり8号について [4]

静止気象衛星「ひまわり」の画像は、赤外バンドデータを用いて作成された雲画像を小中高等学校理科の教科書やマスメディアでよく目にするため、児童生徒にとってなじみのある気象情報のひとつであると思われる。静止気象衛星は赤道上約35800kmの静止軌道上を地球の自転と同じ角速度で回っており、固定視野で広域を定期的に観測しているため、広域の大気の様子を時間・空間の視点をもって調べるときに非常に有用である。ここでは、これまでの気象衛星に比べて格段に高性能になって、教材としての利用可能性も高まった「ひまわり8号」について簡単にまとめる。

ひまわり8号は、2014年10月7日に打ち上げられ、2015年7月7日から日本運用が開始された。ひまわり7号が可視域1バンド、赤外域4バンドの計5バ

<sup>\*1</sup> 熊本大学大学院教育学研究科

ンドで観測していたのに対して、ひまわり8号の可視赤外放射計では可視域3バンド、近赤外域3バンド、赤外域10バンドの計16バンドで観測するセンサが搭載されている。可視域が3バンドで観測されるようになったことでヒトの目で見たとときと同様の可視画像が得られるようになり直観的な理解が可能となった。例えば可視画像に見られる雲と火山灰煙を色の違いで区別することができる。ひまわり8号の可視画像は小中学生用の教材として利用しやすくなったと思われる。

また、ひまわり7号では全球観測（北極から南極まで）を約30分で行っていたが、ひまわり8号では10分で観測できるようになった。さらに、日本域や台風についてはさらに高頻度の2.5分ごとに観測することが可能になった。観測解像度についても、表1に示すように衛星直下点で0.5～2 kmと従来の2倍に向上している。これらの観測機能の大幅な増強によって、台風や集中豪雨をもたらす雲などの移動や発達、火山灰やエアロゾル分布を詳細、高精度に把握することができるようになってきている。ひまわり8号の観測バンドの波長帯や用途などをまとめた表1をみると、雲だけでなく、植生やオゾン、SO<sub>2</sub>などの観測にも用いられていることがわかる。

気象庁の衛星画像のウェブページでは、最近24時

表1 ひまわり8号の観測バンドの特性 [4]

バンド番号	波長帯名	中心波長 [μm]	解像度 衛星直下 [km]	用途
1	可視	0.46	1	植生, エアロゾル, Blue
2		0.51		植生, エアロゾル, Green
3		0.64	0.5	下層雲・雲, Red
4	近赤外	0.86	1	植生, エアロゾル
5		1.6	2	雲相判別
6		2.3		雲粒有効半径
7		3.9	2	下層雲・雲, 自然火災
8	6.2	上・中層水蒸気量		
9	7.0	中層水蒸気量		
10	7.3	中・下層水蒸気量		
11	8.6	雲相判別, SO <sub>2</sub>		
12	9.6	オゾン全量		
13	10.4	雲画像, 雲頂情報		
14	11.2	雲画像, 海面水温		
15	12.3	雲画像, 海面水温		
16	13.3	雲頂高度		

間の10分ごとの日本付近と全球の「可視画像」「近赤外画像」「水蒸気画像」を白黒画像とカラー画像で閲覧することができる [5]。高頻度 (2.5分ごと) の日本付近の画像については、最近3時間分の上記3種類の画像に加えて「雲頂強調画像」の閲覧が可能である [6]。ページ内に衛星画像の見方や気象衛星全般について解説するページへのリンクも示されている。千葉大学環境リモートセンシング研究センターのサイトでは準リアルタイムの全バンドの静止画および1日分の日本付近の可視/赤外動画などを閲覧することができる [7]。過去の動画はNICTサイエンスクラウドひまわり衛星プロジェクトのひまわり衛星データアーカイブで検索・ダウンロードが可能である [8]。

### 3. 微小粒子状物質について

微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) は、2013年1月に中国北京で非常に高い濃度になったことが日本でも報道されてから日本国内においても関心が高まり、当初は過剰な恐怖心を持たせるような報道も一部であった。現在ではPM<sub>2.5</sub>に関する科学的な知識や高濃度時の日常生活上の対処方法などの理解が進んだり、テレビ局の天気予報の時間にPM<sub>2.5</sub>予測が示されるようになったこともあり、PM<sub>2.5</sub>は耳慣れた大気汚染物質のひとつという認識になってきている。

PM<sub>2.5</sub>とは大気中に浮遊しているエアロゾルの一種で、粒径が2.5 μm以下のParticulate matter (粒子状物質) のことである。固体や液体の粒子状物質は多くの成分の混合物として大気中に存在しており、発生機構によって発生源の段階から直接粒子で放出される一次粒子とガス状物質として排出されたものが化学変化などによって粒子化した二次生成粒子に大別できる。またそれぞれについて発生源によって自然起源と人為起源とに分類される。例えば、自然起源の一次粒子は海面の波しぶきから生成する海塩粒子や強風によって巻き上げられる土壌粉塵・黄砂、火山噴火によって放出される火山灰などがある。人為起源の一次粒子としては工場などから排出されるばいじんやディーゼル車などの排気ガスなどがある。一方、二次生成粒子を生成するガス状物質としては、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、アンモニア (NH<sub>3</sub>)、揮発性有機化合物 (VOC) などがあり、人為起源としては工場等での燃焼、自動車排ガス、畜産などから排出される。自然起源としては土壌からNH<sub>3</sub>、植物からVOC、火山からSO<sub>2</sub>などが排出されている [9]。

日本では2009年9月にPM<sub>2.5</sub>の環境基準が告示され、1年平均値15 μg/m<sup>3</sup>以下かつ1日平均値で35 μg/m<sup>3</sup>以下と定められている。日平均値が70 μg/m<sup>3</sup>を超え

ることが見込まれる場合には、暫定的な指針に基づいて、都道府県等が注意喚起を実施することになっている。注意喚起の判断に用いる値として、5時～7時の1時間値  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  超、5時～12時の1時間値  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  超が示されている [10]。

#### 4. 2020年8月のPM<sub>2.5</sub>高濃度事象

九州では大陸からの越境大気汚染の影響を受けやすい春季にPM<sub>2.5</sub>が高濃度になりやすいことが知られている。ところが、2020年8月初旬に1週間ほど九州各地で通常よりも高い濃度のPM<sub>2.5</sub>が記録されるとともに、沖縄でも8月5日に高濃度事象が発生し、マスメディアで報道された。熊本市内では、特に8月3～4日は黄砂飛来時のように視程が低下し、空が黒っぽく霞んで遠くまで見通せない状況であった。九州広域で同時期に高濃度になったことから、PM<sub>2.5</sub>が長距離輸送されてきたことが原因ではないかと考えられる。報道でも西之島による影響が指摘されていた。九州・沖縄や西之島の位置を図1に示す。先行研究では九州における春季のPM<sub>2.5</sub>高濃度時の気圧配置の典型的なパターンとして、「寒冷前線後方型」「移動性高気圧型」「停滞前線北方型」が示されている [11, 12]。

本研究では学校教育における探究学習の観点に立ち、オープンデータとして公開されている実況天気図や気象衛星画像などの気象情報や大気環境データを利用して今回の高濃度事象を調べる。また、日常生活との関わりという点から、タイムラプスカメラ等で撮影した定点カメラ画像と気象台が発表している視程や大気現象の記録との対応についても検討する。

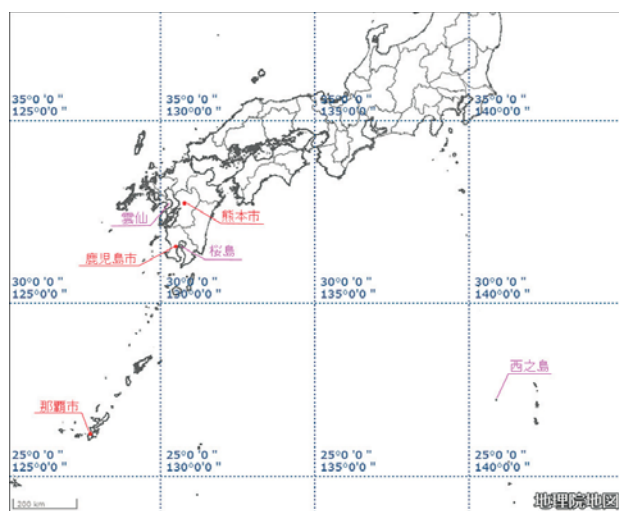


図1 対象地域の位置

#### 4.1 使用データについて

高濃度事象について調べるために使用した各種デー

タについてまとめる。学校教育における教材利用についての所見もあわせて述べる。

##### (1) 大気環境データ

都道府県などによって測定された大気環境データの速報値（1時間値）を環境省大気汚染物質広域監視システム [13] で利用することができる。過去1週間分の1時間ごとの濃度分布図（地域ごと）および測定データの閲覧が可能である。また、直近1年の1時間値（速報値）データのダウンロードもできる。ただし、速報値はデータ検証前のデータであるため、後日修正される可能性がある。確定した大気環境データのデータ区切りは年度になっており、確定値は2年後の夏頃以降に国立環境研究所の環境数値データベース [14] から利用できる。学校教育での利用を考えると、小中学校段階では表計算ソフトでの処理が必要になる数値データよりもマッピングされた濃度分布画像の方が教材として利用しやすいと思われる。国立環境研究所の環境GISのサイト内のそらまめくんギャラリー [15] では、速報値の濃度を独自に地図化（全国）した画像がアーカイブされており、ダウンロード可能である。

本研究では、2020年8月のPM<sub>2.5</sub>とSPM（浮遊粒子状物質；粒径  $10 \mu\text{m}$  以下の粒子状物質）について、国立環境研究所によって地図化された濃度分布図 [15] と環境省大気汚染物質広域監視システム [13] よりダウンロードした数値データから熊本市（中島局）、鹿児島市（谷山支所局）、那覇市（那覇局）の速報値を使用した。

##### (2) 気象データ

天気図と目視観測情報（天気や視程、大気現象）は、気象庁のウェブサイトの各種データ・資料のページ [16] を利用して調べた。このページからリンクしている「過去の天気図／日々の天気図」では「過去数か月分についての3時間ごとの天気図（3, 6, 9, 12, 15, 18, 21時）／月ごとにまとめられた各日9時の天気図と天気概況」を調べることができる。気象台で観測された目視観測情報は、「過去の気象データ検索」のページから以下の手順で調べることができる。(1)「地点の選択」で都道府県を選択後、観測地点を選択、(2)「年月日の選択」で年月日を指定、(3)「データの種類」で(2)で指定した年月日の1時間ごとの値を表示を選択。本研究では熊本地方気象台と鹿児島地方気象台のデータを使用した。なお、熊本地方気象台は2020年2月3日15時より目視観測通報が自動化されたため、視程が20 km以上の場合であっても20.0 kmと記録されている。

### (3) JAXA ひまわりモニタ [17]

宇宙航空研究開発機構地球観測研究センターによる、JAXA ひまわりモニタ分野横断型プロダクト提供システム (P-Tree) では、気象庁提供のひまわり標準データ、JAXA 作成の投影変換済みひまわり L1 格子化データ、JAXA 作成の物理量データやモデルプロダクトとしてエアロゾル特性データと海面水温データが提供されており、ユーザ登録を行えば無料で解析用データを利用できる。しかし、これらのデータを解析処理するには専門的な知識が必要であるため、学校教育における利用は負担が大きい。そこで探究学習の教材としては、データ解析処理不要の、ウェブブラウザ上に表示される画像を有効活用することが考えられる。提供されている解析用データすべてではないが、JAXA ひまわりモニタでは、指定した年月日時刻のひまわり可視画像や可視画像に JAXA 作成物理量データ (海面水温、エアロゾル光学的厚さ、日射量、クロロフィル a 濃度、林野火災、太陽光発電量、雲光学的厚さ、雲タイプ) を重ね表示した画像をウェブブラウザ上に表示して利用できる。また、エアロゾル光学的厚さ、あるいは海面温度を重ね表示したときには、モデルプロダクトへのリンクボタンが表示されるため、容易にモデルプロダクト画像にもアクセスできる。

本研究ではウェブブラウザ上に表示される可視画像を用いて西之島からの火山灰煙の放出量や移流方向を調べた。可視画像に JAXA 作成エアロゾル光学的厚さを重ね表示した画像を用いて火山性エアロゾルの挙動を調べた。エアロゾルの挙動については、モデルプロダクトのエアロゾル特性画像 (エアロゾル光学的厚さ画像とエアロゾル成分画像) も参照した。JAXA 作成エアロゾル光学的厚さ画像は、時間分解能 10 分、1 時間、1 週間、1 か月を選択できるが、ここでは可視画像に対応する時間分解能 10 分のプロダクト画像を使用した。この画像では日中の主に晴天域のエアロゾル分布の様子がわかる。モデルプロダクトのエアロゾル特性画像は時間分解能 1 時間のみである。ベータ・バージョンであり、品質保証はされていないとの注意書きがあるため利用は参照にとどめた。なお、これらのデータの概要や各プロダクトに関する参考文献などについては、ウェブサイト内のユーザーガイドに示されている。

### (4) 定点カメラ画像

熊本市内と鹿児島市内に設置している定点カメラの画像を使用した。熊本市内のカメラは Brinno 社タイムラプスカメラ TLC200 を用いて熊本市内から西方に向けて日中 30 分間隔で撮影したものである。カメラ画像には撮影地点の西約 45 km に位置する雲仙岳、

北西約 12 km に位置する金峰山などの山並みが映っている。鹿児島市内のカメラは桜島の活動を観測するために設置して日中 10 秒ごとに撮影しているウェブカメラであり、撮影地点の北東約 17 km に位置する桜島が映っている。撮影システムについては文献[18]にまとめている。日中正時の 1 時間ごとの画像をアーカイブ画像としてホームページで公開しており、教材として自由に利用できる [19]。

## 4.2 結果と考察

2020 年 8 月 1～7 日の熊本市、鹿児島市、那覇市における  $PM_{2.5}$  と SPM 濃度の時間変化を図 2 に示す。 $PM_{2.5}$  と SPM の濃度変化はよく対応しており、鹿児島市と那覇市では SPM のおおよそ半分、熊本市では両市よりも粒径の小さな  $PM_{2.5}$  の割合が多かったことがわかる。なお、SPM の環境基準は 1 時間値の 1 日平均値が  $0.10 \text{ mg/m}^3$  以下かつ 1 時間値が  $0.20 \text{ mg/m}^3$  以下である。解析期間中に環境基準を超えることはなかったが、例えば、8 月 1 日に示されるような通常時に比べると、 $PM_{2.5}$  が高濃度になっていたときに SPM も高濃度になっていたことがわかる。ここで確認しておかなくてはならないのは、鹿児島市の谷山支所局は桜島南岳の南西約 15 km に位置しているため桜島による影響が考えられるという点である。この期間に鹿児島地方気象台 [20] によって桜島の噴火が記録されていないこと、鹿児島市内の定点カメラ [19] に見られる噴煙が白色で火山灰をあまり含まない様子であったこと、 $PM_{2.5}$  と SPM の濃度変化がよく対応していたことから桜島の火山灰による影響 (特に SPM 濃度に影響すると考えられる) はほとんどなかったと判断した。

図 2 より  $PM_{2.5}$  と SPM の濃度は熊本市と鹿児島市では 8 月 2 日夕方から 4 日午前の高い状態であり、5 日にはいったん濃度が低下したものの、6 日午後から 7 日午前にかけて再び高くなっていたことがわかる。国立環境研究所のそらまめ君ギャラリー [15] からダウンロードした 8 月の 1 時間ごとの  $PM_{2.5}$  濃度分布図では、8 月 2 日の午後より九州北西部や山陰から高濃度の領域が南東へと広がりはじめて、夜には鹿児島でも高濃度になっていた。翌日のお昼頃には九州東部の大分県や宮崎県でも  $35 \mu\text{g/m}^3$  を超える測定局が増えてきて九州各地で高濃度の状態が続き、その後 4 日の午後になって九州南部から徐々に濃度が低下していく様子が確認できた。8 月 3 日 18 時の  $PM_{2.5}$  濃度分布図 [15] を図 3 に示す。九州各地や中国地方の広域で 1 時間値が  $35 \mu\text{g/m}^3$  を超えており (黄, オレンジ, 赤色表示)、特に長崎県や熊本県では  $70 \mu\text{g/m}^3$  を超える高濃度 (赤色表示) になっていた地域があったこと

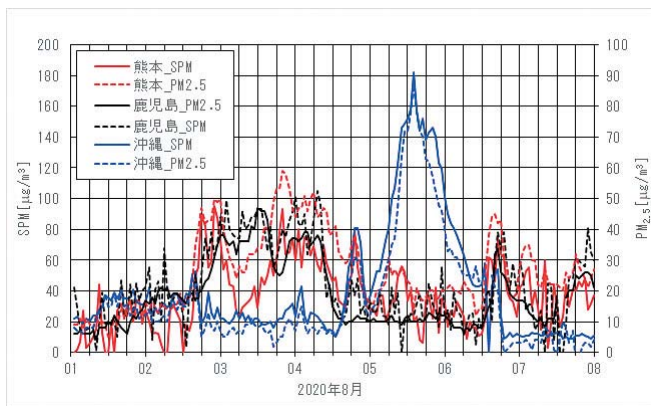


図2 2020年8月1～7日のPM<sub>2.5</sub>とSPM濃度の時間変化

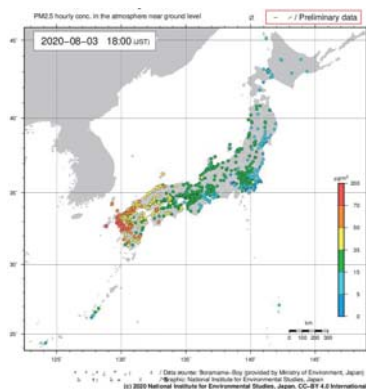


図3 2020年8月3日18:00のPM<sub>2.5</sub>濃度分布図 [15]

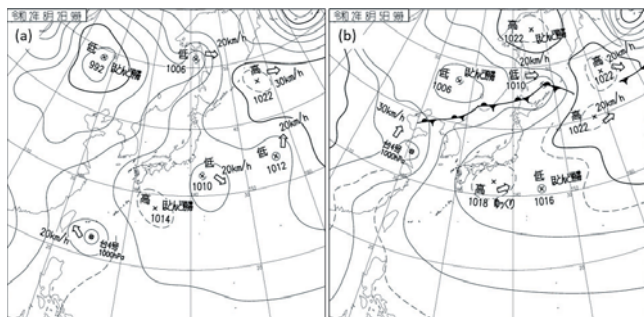


図4 9時の天気図. (a) 2020年8月2日, (b) 5日 [16]

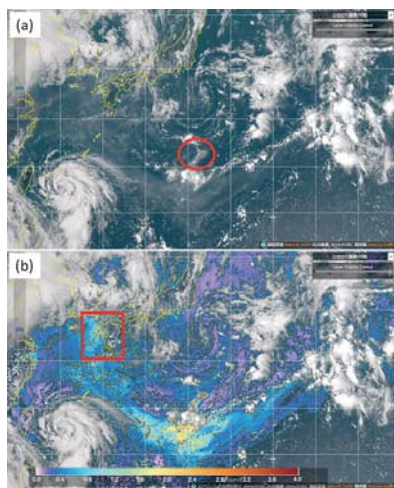


図5 JAXA ひまわりモニタの2020年8月2日9時 (a)可視画像, (b)エアロゾルの光学的厚さ重ね画像 [17]

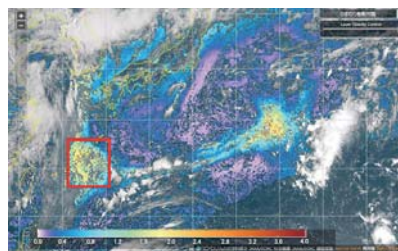


図6 JAXA ひまわりモニタの2020年8月5日9時のエアロゾルの光学的厚さ重ね画像 [17]

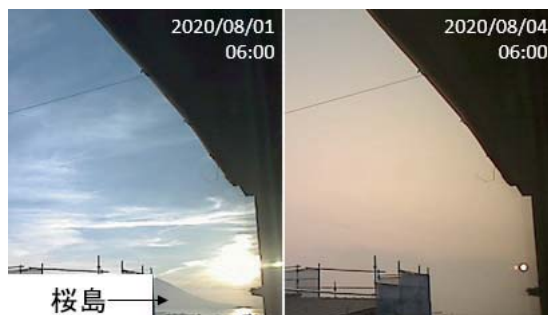


図7 鹿児島市内の定点カメラの6時の画像 (a) 2020年8月1日, (b) 4日

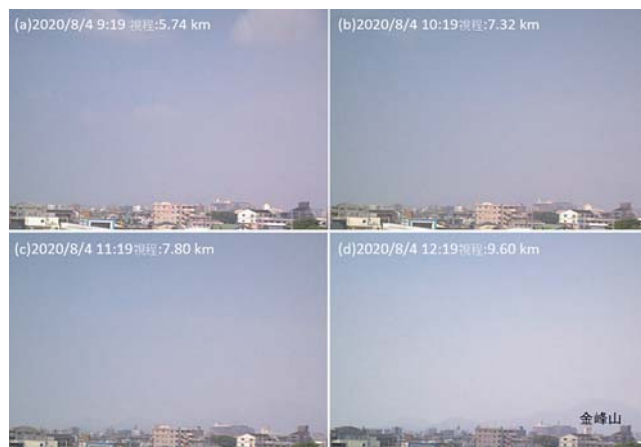


図8 2020年8月4日の熊本市内の定点カメラ画像 (a) 09:19, (b) 10:19, (c) 11:19, (d) 12:19

がわかる。このように広域で同時期に高濃度になっていたことから局所的な発生源による事象とは考えにくい。また、濃度分布図に示された面的な濃度上昇・下降の様子から帯状に長距離輸送されてきた物質が原因の高濃度事象ではないかと推測される。一方、図2に示すPM<sub>2.5</sub>濃度の時間変化を見ると、那覇市(青線)では5日のみ高濃度となっており、注意喚起の判断に用いられる値として示されている85µg/m<sup>3</sup>を超えた時間もあったことがわかる。この日は沖縄県内の他の大気環境測定局でも那覇局と同様の濃度変化が記録されていた。九州の1回目の高濃度事象が九州南部から解消されていったことや気圧配置(図4)から考えると、8月5日に沖縄県でみられた高濃度事象は、九州

で1回目の高濃度事象をもたらしたPM<sub>2.5</sub>を含む気塊が沖縄に到達したためとは考えにくく、異なるイベントであると考えられる。

地上天気図 [16] をみると7月下旬から次第に太平洋高気圧が日本付近まで張り出してきており、九州は8月上旬まで図4に示すように太平洋高気圧の後面に位置していた。先行研究では、春季の移動性高気圧の後面に九州が位置するときに九州北部において桜島からのSO<sub>2</sub>プリュームの輸送が観測されたことが報告されており [21]、今回の高濃度事象も、高気圧の辺縁流によって大気汚染物質が長距離輸送されてきたことが考えられる。すでに述べたように、この期間の桜島の噴火活動はあまり活発ではなかったことや長崎大学・琉球大学共同発表 [22] で西之島の影響が指摘されていることから、西之島の火山活動について気象庁の火山活動解説資料 [23] を確認した。6月中旬以降火山活動が活発化して、7月は気象衛星ひまわりで噴煙高度が火口縁上4000 m程度に達する噴火が継続的に確認されたり、現地観測でも大量の火山灰を放出する活発な噴火が確認されるなどしていたことや8月中旬頃から噴煙高度が2000 mを下回る日が多くなるなど噴火活動の低下傾向が認められたことなどが記録されていた。九州・沖縄でPM<sub>2.5</sub>高濃度事象が発生した時期は西之島の噴火活動が非常に活発であったことがわかった。そこでJAXA ひまわりモニタ [17] で7月下旬から8月上旬までの日中1時間ごとの可視画像をウェブ表示して、西之島から放出された火山噴煙の様子を調べた。その結果、7月25日には西之島噴煙は北向きに流れていたが、太平洋高気圧の日本付近への張り出しに伴って29日にかけて徐々に反時計回りに西向きへと流れを変えていたことがわかった。30日朝には噴煙は南へ流れており、午後からは噴煙の量が多くなって火山灰を多く含むとみられる灰色をした火山灰煙が扇状に広がりながら南方へ流れる様子が捉えられていた。2020年8月2日9時00～10分の(a)可視画像と(b)エアロゾルの光学的厚さ重ね画像を図5に示す。噴煙上流の主軸の流れる向きは南東に変化しているが、引き続き火山灰を多く含む噴煙が扇状に広がりながら南方へ流れている様子(図5aの赤丸)と火山灰煙の流れた先に白っぽい帯状のエアロゾルらしき領域が高気圧(図4a)の辺縁に沿って大きくカーブしながら東西に広がっている様子が見られる。図5bのエアロゾルの光学的厚さ重ね画像で対応する領域をみると青からオレンジの色合い(エアロゾルの光学的厚さ0.4～2.4)で表示されている。特に西之島の南と九州の西の海上にエアロゾルの光学的厚さの値が大きい領域(図5bの赤枠内)を確認できる。3日と4日の画像からも7月末以降に西之島から放出され

て九州の西に到達した気塊が九州各地に1回目の高濃度PM<sub>2.5</sub>をもたらしたのではないかと推測される。

可視画像をみると、西之島から放出された噴煙は3日から5日にかけて徐々に火山灰の量が減っていくとともに移流の向きを南東から東へと変えたが、白っぽいエアロゾルのような領域は引き続き西にも広がり続けていた。沖縄県で非常に高濃度のPM<sub>2.5</sub>が観測された2020年8月5日9時00～10分のエアロゾルの光学的厚さ重ね画像を図6に示す。沖縄本島周辺にエアロゾル光学的厚さの値が大きい領域が存在していることがわかる(図6の赤枠内)。この気塊が沖縄県に高濃度PM<sub>2.5</sub>をもたらしたのではないかと推測される。天気図 [16] を確認すると、4日から5日には太平洋高気圧が東の方へ移動し始めており、2日から3日には沖縄県の南西に位置していた台風が北上して5日には沖縄県の北東に位置していた(図4b)。高気圧の辺縁流に加えて台風による大気の流れもこの期間の火山性エアロゾルの輸送に関係していたかもしれない。その後、台風は温帯低気圧に変わったが、この低気圧に伴う前線の雲の前面に沖縄周辺から九州に向かってエアロゾルの光学的厚さの値が大きい領域が広がり、6日から7日にかけて前線の移動に伴って九州や西日本を横断する様子がエアロゾル光学的厚さ重ね画像およびモデルプロダクトのエアロゾル特性画像で確認できた。沖縄の高濃度事象の原因になった気塊が移流してきて九州における2回目の高濃度PM<sub>2.5</sub>をもたらしたと推測される。

最後に、日常生活において児童生徒が大気環境を実感しやすいのは空の色や霞み(視程の低下)であると思われる。そこでPM<sub>2.5</sub>が高濃度になった期間の熊本市と鹿児島市の定点カメラの画像と気象台による視程や大気現象の記録を調べた。高濃度の期間内は両市ともおおむね晴れの天気で、大気現象として「もや」や「煙霧」が記録されていた。なお、気象庁の定義では、「もや」は微小な浮遊水滴や湿った微粒子により視程が1 km以上10 km未満となっている状態。「煙霧」は乾いた微粒子により視程が10 km未満となっている状態である。今回の解析期間では夜間から朝方に「もや」、日中に「煙霧」と記録されていることが多かった。湿度75%以上の時間は「もや」、75%未満のときは「煙霧」と記録されていたと理解できる。図7に8月1日と4日の6時に鹿児島市内の定点カメラで撮影された画像を示す。鹿児島地方気象台の記録によると、8月1日6時の天気は晴れで視程が30.0 km、大気現象の記録なし。4日6時の天気は晴れで視程が4.00 km、大気現象の記録は「もや」となっている。図7をみると17 km離れた桜島が1日は見えているが4日は見えず、空の色の赤味が強く大気中に微粒子が多く浮

遊していることがよくわかる。8月4日9時～12時の1時間ごとの熊本市内の定点カメラ画像を図8に示す。この時間帯のPM<sub>2.5</sub>とSPM濃度は図2の赤色の線で示すように、緩やかに減少していた。熊本地方気象台の記録によると、天気は晴れで「煙霧」が記録されていた。視程は9時から12時にかけて5.74 kmから9.60 kmへと回復しており、図8に示す画像でも11時頃から12 km離れた金峰山がうっすらと見えはじめる様子が捉えられていた。地域の大気環境を探究するうえで地域内で撮影された空の時系列画像は教材として有効であると思われる。

## 5. おわりに

JAXA ひまわりモニタのウェブ表示機能を利用することによって、衛星データを解析することなく、高性能化した静止気象衛星ひまわりの画像やひまわりデータから作成された物理量プロダクト、さらにはモデルプロダクト画像まで利用できることは、学校教育における探究学習において非常に有用であると思われる。また、インターネットを介して提供されている大気環境データも数値データだけでなくマッピングされた画像も利用できるようになったことで生徒の実態に応じた利用を検討しやすくなり、教材として用いやすくなったと考える。一方で、検索・取得したデータを処理したり利用するだけでは日常生活との関わりの実感が乏しくなることが懸念される。今回対象としたような大気環境に関する探究学習においては、児童生徒が検討・決定した学校内の見晴らしのよい場所に設置したタイムラプスカメラや児童生徒自身がタブレット端末などのカメラで撮影した空の様子を探究のための画像データとして使用したり、簡易的な測定器や測定キットを用いて大気質を実際に測定する機会を設定するなど、児童生徒自身による活動も加えることで主体的な深い学びになると期待される。

## 謝 辞

本研究で使用したひまわり可視画像やエアロゾル特性プロダクト画像 [24] および参照した気象研究所と九州大学によって開発されたエアロゾルモデルプロダクトの画像は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の分野横断型プロダクト提供サービス (P-Tree) より提供を受けました。心より感謝いたします。本研究はJSPS 科研費 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] 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.
- [4] 伊東譲司・西村修司・田中武夫・岡本幸三, ひまわり 8 号気象衛星講座, 東京堂出版, 9-18, 2016.
- [5] 気象庁, 衛星画像: <http://www.jma.go.jp/jp/gms/>
- [6] 気象庁, 衛星画像 (高頻度): <http://www.jma.go.jp/jp/gms150jp/>
- [7] 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, 準リアルタイムひまわり 8 号 (Himawari8) 画像: [http://quicklooks.cr.chiba-u.ac.jp/~himawari\\_movie/index.html](http://quicklooks.cr.chiba-u.ac.jp/~himawari_movie/index.html)
- [8] 情報通信研究機構, NICT サイエンスクラウドひまわり衛星プロジェクトひまわり衛星データアーカイブ: <https://sc-web.nict.go.jp/himawari/himawari-archive.html>
- [9] 編集企画委員会, 知っておきたい PM<sub>2.5</sub> の基礎知識, 日本環境衛生センター, 16-25, 2013.
- [10] 環境省, 微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) に関する情報: <http://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html>
- [11] 兼保直樹・高見明憲・佐藤圭・畠山史郎・林政彦・原圭一郎・Chang Lim-Serok・Ahn Joon-Young, 九州北部における春季の高濃度 PM<sub>2.5</sub> と長距離輸送, 大気環境学会誌 45, 227-234, 2010.
- [12] 兼保直樹・高見明憲・佐藤圭・畠山史郎・林政彦・原圭一郎・河本和明・山本重一, 九州北部の離島および大都市における PM<sub>2.5</sub> 濃度の通年での挙動, 大気環境学会誌 46, 111-118, 2011.
- [13] 環境省, 大気汚染物質広域監視システム (そらまめ君): <http://soramame.taiki.go.jp/>
- [14] 国立環境研究所, 環境数値データベース: <https://www.nies.go.jp/igreen/>
- [15] 国立環境研究所, 環境 GIS そらまめ君ギャラリー: <https://tenbou.nies.go.jp/gis/realtime/soramame.html>
- [16] 気象庁, 各種データ・資料: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- [17] 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター, JAXA ひまわり モニタ分野横断型プロダクト提供システム (P-Tree): [https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index\\_j.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html)
- [18] 飯野直子・金柿主税, 桜島火山デジタルコンテンツの作成, 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 57, 33-41, 2008. <http://hdl.handle.net/2298/10629>
- [19] 熊本大学理科教育研究室, 錦江台から見た桜島: <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/volc/kinko/>
- [20] 鹿児島地方気象台, 県内の火山資料: [https://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/kazan\\_top.html](https://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/kazan_top.html)

- [21] 鶴野伊津志・若松伸司・植田洋匡・村野健太郎・酒巻史郎・栗田秀實・薩摩林光・寶来俊一, 春季の移動性高気圧通過時の九州地域での二次汚染物質と火山性  $\text{SO}_2$  の挙動, 大気環境学会誌 32, 404-424, 1997.
- [22] 長崎大学, 学術情報一覧 長崎および沖縄における火山起源の高濃度  $\text{PM}_{2.5}$  の観測 : <http://www.nagasaki-u.ac.jp/ja/about/info/science/science209.html> ; 琉球大学, おしらせ 昨日 8/5 に沖縄で観測された環境基準を超える西之島の火山起源の高濃度  $\text{PM}_{2.5}$  イベントに関する情報提供 : <https://www.u-ryukyu.ac.jp/news/15458/>
- [23] 気象庁, 火山活動解説資料 (西之島) : [http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly\\_v-act\\_doc/monthly\\_vact\\_vol.php?id=326](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact_vol.php?id=326)
- [24] Yoshida, M, M. Kikuchi, T. M. Nagao, H. Murakami, T. Nomaki, and A. Higurashi, Common retrieval of aerosol properties for imaging satellite sensors, J. Meteor. Soc. Japan, doi:10.2151/jmsj.2018-039, 2018.

URL は 2020 年 9 月 29 日に確認.