

第3章 静止気象衛星による西之島の熱活動*

III Thermal activity of Nishinoshima detected by geostationary meteorological satellites**

3.1 はじめに

気象庁が運用する静止気象衛星は大気上端から地球外へ放射される可視光、赤外放射および近赤外放射を24時間絶えず観測している。このうち赤外および近赤外放射は、観測する波長帯によっては、地表面付近の熱を由来とし大気を透過して衛星で観測され得る。これにより、森林火災や火山噴火により放出された高温の噴出物に由来する赤外放射が衛星で観測できることが分かっている（気象衛星センター, 2005；隈部, 2006）。今般、活発な火山活動を見せた西之島についても2013年11月の活動開始（小野他, 2015）以来、気象衛星による近赤外放射の観測によって火山活動に由来すると思われる放射輝度の変化を捉えることができた。放射輝度の変化は火山噴火で放出される高温の噴出物の量や温度の変化に対応するものと考えられるため、衛星観測で得られた放射輝度データの長期変化から火山活動の推移を推察できるものと考えられる。気象庁では、2013年の噴火開始の時点では運輸多目的衛星新2号（愛称、ひまわり7号。以下、MTSAT-2という）を運用しており、また2015年7月7日から大幅に機能向上した気象衛星ひまわり8号（以下、Himawari-8という）を運用している。幸いにもこれらの衛星による観測は24時間、365日絶えず行われており、西之島の活動開始期から現在に至るまで欠測の少ないデータが得られていることから、別章で述べる観測結果と比較することで、火山活動の推移をより高い精度で評価することが可能になると考える。

本章では、気象衛星で観測されたデータを用い、西之島における放射輝度の長期変化傾向について検討した。はじめに気象衛星による観測の概要を述べたのち、西之島周辺を観測したデータに対して行った解析手法と結果について述べる。

3.2 静止気象衛星による西之島火山周辺の観測の概要

3.2.1 静止気象衛星観測の概要

気象庁は1978年以降、30年以上に渡って静止気象衛星を運用してきた。このうち西之島の火山活動が活発化した2013年11月にはMTSAT-2を運用しており、更に2015年7月7日より機能を大幅に向上したHimawari-8を運用している（Bessho et al., 2016）。なお、2013年10月22日～12月19日および2014年11月10日～11月28日の間は、MTSAT-2は地上設備のメンテナンス運用により、待機衛星である運輸多目的衛星新1号（愛称、ひまわり6号。以下、MTSAT-1Rという）が臨時に運用された（以下、MTSAT-1RとMTSAT-2とあわせていう場合はMTSAT-1R/2と表す）。また、2016年にはHimawari-8と同性能のHimawari-9（ひまわり9号）の打ち上げも予定されている。Table 3.1にMTSAT-1R/2およびHimawari-8の観測機能の概要を示す。

ここで、空間分解能（Spatial Resolution）とは観測範囲内の対象物を分別する能力を表し、衛星画像を作成した場合の1画素が観測する地球表面上の面積に対応する。例えば、空間分解能が2kmであれば、1画素で2km四方の地球表面上の対象物を分別することができる意味する。ただし、Table 3.1の値は衛星直下点（Sub Satellite Point；SSP）である赤道付近における値であり、観測する領域が高緯度になるほど1画素に対する地球表面上の面積は大きくなるため空間分解能は低下する。

観測間隔（Temporal Resolution）とは、MTSAT-1R/2またはHimawari-8が対象領域（全球、北半球、日本域、機動観測域）を1回観測するために要する時間である。また、MTSAT-1R/2およびHimawari-8は、地球からの放射を可視光に近い波長帯（visual；VIS）、人の目では見えない近赤外（near-infrared；NIR）および赤外（infrared；IR）の波長帯に分け、更にそれらを複数に分割した波長帯で観測することができる。

* 土山博昭（気象庁地震火山部火山課、火山研究部併任） ** Hiroaki Tsuchiyama

Table 3.1 Sensor specifications aboard the MTSAT-1R/2 and Himawari-8 satellites.
 表 3.1 MTSAT-1R/2 と Himawari-8 の主な観測機器の機能。

Function	MTSAT-1R/2	Himwari-8
Spatial Resolution at SSP*	VIS : 1km IR : 4km	VIS : 1km and 500m NIR : 1km and 2km IR : 2km
Temporal Resolution	Full Disk : 60min Half Disk : 30min	Full Disk : 10min Japan Area : 2.5min Target Area : 2.5min
Observation Channels	VIS : 1 Channel IR : 4 Channels	VIS : 3 bands NIR : 3 bands IR : 10 bands

* Sub-satellite point

Table 3.2 Observation bands of MTSAT-1R/2 and Himawari-8.
 表 3.2 MTSAT-1R/2 と Himawari-8 の各帯域の仕様。

	MTSAT-1R/2			Himawari-8		
	Band	Wavelength (μm)	Spatial Resolution (km)	Band #	Wavelength (μm)	Spatial Resolution (km)
Visible				#1	0.47	1
				#2	0.51	
	VIS	0.68	1	#3	0.64	0.5
Near-infrared				#4	0.86	1
				#5	1.6	
				#6	2.3	
Infrared	IR4	3.7	4	#7	3.9	2
	IR3	6.8	4	#8	6.2	
				#9	6.9	
				#10	7.3	
				#11	8.6	
				#12	9.6	
	IR1	10.8	4	#13	10.4	
				#14	11.2	
	IR2	12.0	4	#15	12.4	
				#16	13.3	

可視光放射の観測は人間の視覚で感じる波長帯に近い光の放射輝度を捉えることができ、地球表面や雲頂による太陽光の反射光を観測する。したがって、海面などの太陽光を反射しにくい表面では可視光の放射輝度は低く、積乱雲の雲頂や雪氷など太陽光をよく反射する表面では高い放射輝度が観測される。

一方、赤外放射は可視光よりも波長が長く、物体からの熱の放射であり、その放射輝度は物体の温度に依存する。赤外放射の観測では地球表面や雲頂の温度に応じた放射輝度を観測する。例えば、温度が比較的高い地表面では高い放射輝度が観測され、温度が低い積乱雲や巻雲の雲頂などでは低い放射輝度が観測される。近赤外放射は可視光と赤外放射の間の波長帯で、対象物による太陽光の反射と対象物自体の熱による放射の双方を観測できる。Table 3.2 に MTSAT-1R/2 および Himawari-8 の観測可能な波長帯とその空間分解能を示す。

3.2.2 近赤外波長帯（ $3.7\mu\text{m}$ および $3.9\mu\text{m}$ ）の観測データの活用

ここで、火山活動の監視に有効な観測波長帯について述べる。地表面付近の熱による放射を観測するために効率的な観測波長帯のとして $3.7\mu\text{m}$ および $3.9\mu\text{m}$ があげられる。MTSAT-1R/2 では Table 3.2 の IR4 と呼ばれる中心波長 $3.7\mu\text{m}$ の帯域、Himawari-8 では#7 と呼ばれる中心波長 $3.9\mu\text{m}$ の帯域が地表面付近からの放射を捉えるためには効率的である。これは、大気に対する電磁波の透過率がこの付近の波長帯で比較的高いためである（中澤, 2016）。ただし、この波長帯は地球による太陽光の反射と地球表面や雲から直接放射される赤外放射の双方に感度を持つ（気象衛星センター, 2005）。このため、昼間では地表面付近の熱に起因する放射輝度に加え、地球表面の太陽光の反射による放射輝度も観測することになり、地表面付近の熱活動を正確に捉えることができなくなる。火山活動に由来する熱活動を捉えるためには太陽光反射のない夜間の観測データを用いることが望ましい。ただし、夜間であっても厚い雲により地表面が覆われている場合は地表面からの放射は衛星に到達できず、雲からの放射を観測することになるので放射輝度は低くなる。

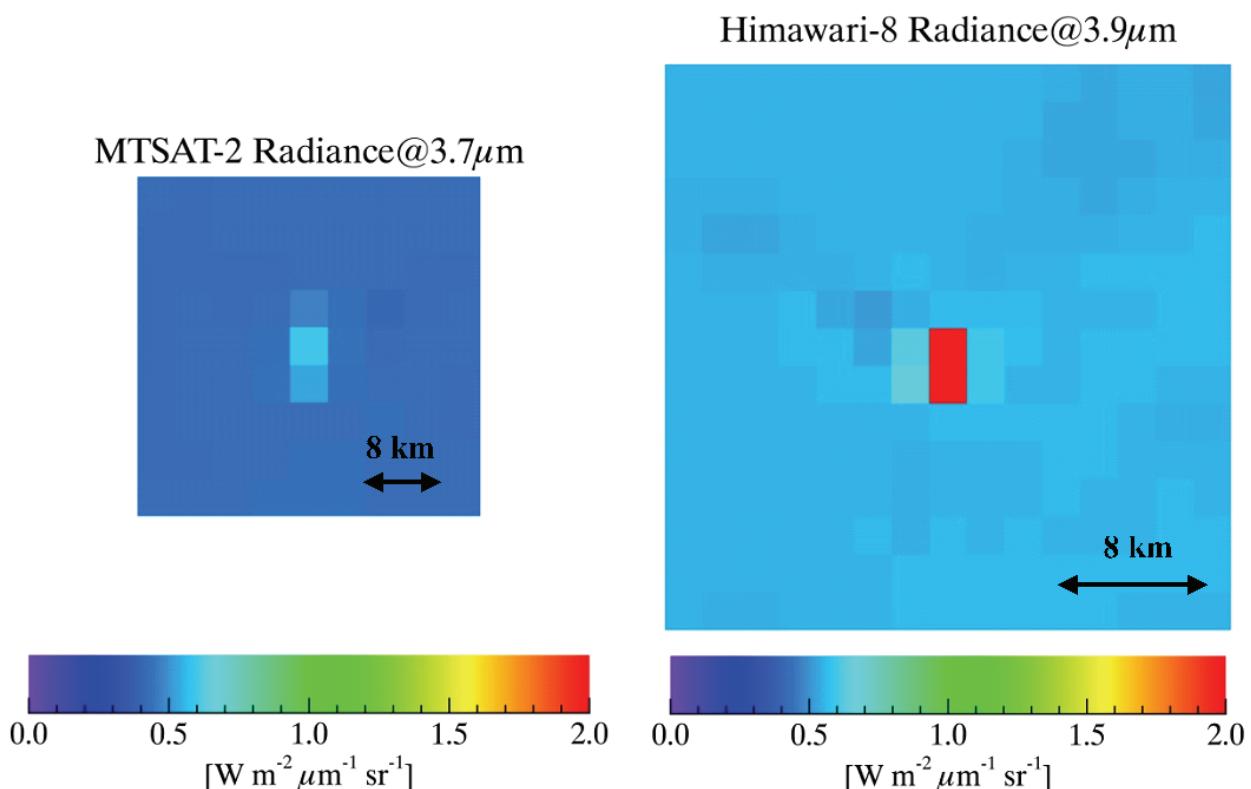


Fig. 3.1 Radiance distributions observed at and around Nishinoshima by MTSAT-2 (9x9 pixels, left) and Himawari-8 (15x15 pixels, right). Areas of higher radiance are visible around the center pixel.

3.2.3 静止気象衛星による西之島の観測事例

MTSAT-2 および Himawari-8 で西之島周辺を観測した例を Fig. 3.1 に示す。図は 2015 年 7 月 9 日 15:00 協定世界時 (UTC) における MTSAT-2 の中心波長 $3.7\mu\text{m}$ 帯と Himawari-8 の中心波長 $3.9\mu\text{m}$ 帯で観測した放射輝度の分布を表しており、画像中心のピクセルが西之島の位置に対応する。画像中心付近には、その周囲より放射輝度が高いピクセルが見られる。これが西之島の高温噴出物に由来する領域と考える。ここで、このような高温噴出物由来の熱エネルギーを反映している領域を「熱異常域」と呼び、その周囲の高温噴出物由来の熱エネルギーの影響を受けていない領域を「バックグラウンド」と呼ぶことにする。なお、放射輝度の値は 1 ピクセルの領域内で平均化されるため、西之島のように 1 ピクセル内にほぼ収まってしまうような狭い領域の場合、低く観測される。ただし、前述のとおり Himawari-8 の空間分解能は MTSAT-2 よりも高いため、1 ピクセル内における放射輝度の平均化の効果が小さくなり、Himawari-8 で観測した放射輝度の方が MTSAT-2 よりも高く見積もられる。

3.3 解析手法

気象衛星センターで保存している静止気象衛星観測データファイルより MTSAT-1R/2 の IR4 の帯域および Himawari-8 の #7 の帯域で観測した西之島周辺の放射輝度情報を抽出し、解析処理を行ってその変動を求めて熱異常の長期変動を調査した。データの抽出方法および解析方法を以下に述べる。

Table 3.3 Dataset for the analysis.

表 3.3 解析に用いたデータの概要。

Period	1 September 2013 – 31 August 2015 Daytime (22:00–09:00 UTC) not included	7 July 2015 – 31 July 2016 Daytime (22:00–09:00 UTC) not included
Satellite	MTSAT-2*	Himawari-8
Dataset	HRIT comprising 2750x2750 pixels.	HSD comprising 5000x5000 pixels.
Central Wavelength	$3.7\mu\text{m}$ (Band IR4)	$3.9\mu\text{m}$ (Band #7)
Spatial resolution at SSP**	4km	2km
Area of data extraction	Radiance values of 9x9 pixels centered on Nishinoshima (140.874°E , 27.247°N) were extracted from HRIT. No atmospheric correction was applied to the radiance values.	Radiance values of 15x15 pixels centered on Nishinoshima (140.874°E , 27.247°N) were extracted from HSD. No atmospheric correction was applied to the radiance values.
Pixel Definitions	Pixels shown in Fig. 3.2 are defined as follows. Yellow and pink: Thermal anomaly assumed to be affected by eruptive activity at Nishinoshima. These pixel values were used to calculate the thermal anomaly. Sky blue: Areas assumed to be unaffected by eruptive activity. These pixel values were used for the background calculation. White: Not used in calculations.	

* Data acquired by MTSAT-1R during 22 October–18 December 2013 and 10–28 November 2014.

** Sub-satellite point

3.3.1 利用したデータ

Table 3.3 に解析に用いた観測データファイルの概要を示す。用いた期間は西之島の火山活動が活発化する以前の 2013 年 9 月 1 日から 2016 年 7 月 31 日とした。この間の 2015 年 7 月 7 日、気象庁は運用衛星を MTSAT-2 から Himawari-8 に切り替えた。(Table 3.3)。衛星の切り替えに伴い、その前後で用いたデータセットの名称および画像としたときの空間分解能は異なる。データセットは MTSAT-2 の帯域 IR4 および Himawari-8 の帯域#7 である。なお、先に述べたようにこれらのバンドは地表面や雲による太陽光反射の放射も観測してしまうことから、昼間(22:00UTC~09:00UTC)の時間帯のデータは用いないこととした。解析には、データファイルから、西之島付近を中心として MTSAT-2 では 9×9 ピクセルの、HIMAWARI-8 では 15×15 ピクセルの範囲を抽出し用いた。

3.3.2 解析方法

ここでは、得られた放射輝度の解析方法を述べる。前述のとおり抽出したピクセルの配置の模式図を Fig. 3.2 に示す。この配置に相当する各々のピクセルにおける放射輝度をデータファイルより抽出し、統計値計算を行う。ここで、解析の対象領域は Fig. 3.2 のように 2 つに色分けした領域に分けられ、各々の領域を統計値計算対象のピクセルと計算対象外のピクセルとして定義した (Table 3.3)。

Fig. 3.2 のとおりに色分けされたピクセルの放射輝度をもとに以下のように定義し、統計値を求めた。

MAX_IN	: 西之島近傍領域のピンク色ピクセル（黄色ピクセルを含む）における放射輝度の最大値
AVE_OUT	: 西之島周辺領域の水色ピクセルにおける放射輝度の平均値
SUM_IN	: 西之島近傍領域のピンク色ピクセル（黄色ピクセルを含む）における放射輝度の総和
SUM_OUT	: 西之島周辺領域の水色ピクセルにおける放射輝度の総和

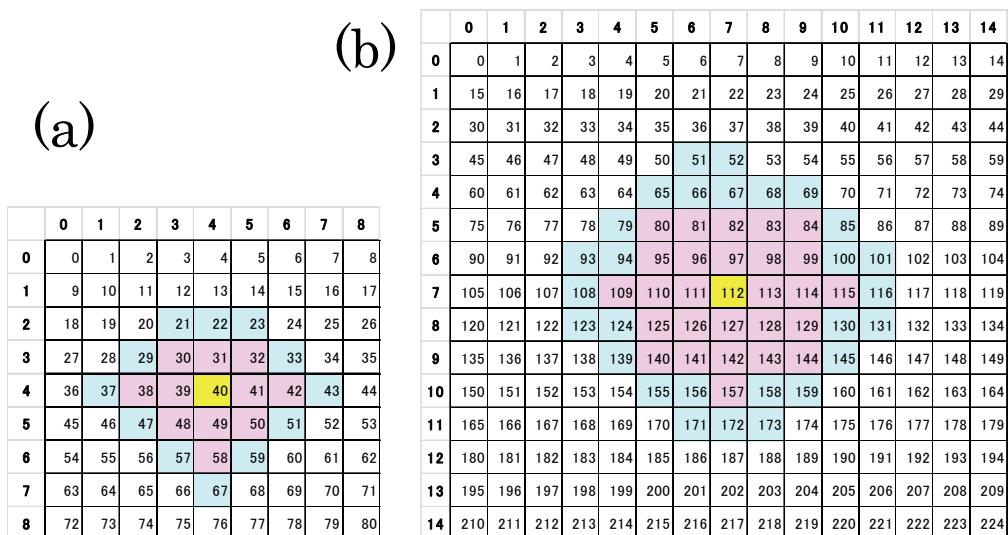


Fig. 3.2 Allocation pixels of the satellite imagery for “thermal-anomaly area” and “background”. (a) 9×9 pixel grid of MTSAT-1R/2 imagery. (b) 15×15 pixel grid of Himawari-8 imagery. In each image, the center pixel (yellow) corresponds to Nishinoshima. Yellow and pink pixels represent the thermal-anomaly, assumedly affected by eruptive activity at Nishinoshima. Sky blue pixels represent areas assumed to be unaffected by eruptive activity. White pixels were not used in calculations.

図 3.2 热異常域とバックグラウンドに対する衛星画像のピクセル配置。(a) MTSAT-1R/2 のピクセルグリッド。(b) Himawari-8 のピクセルグリッド。中央の黄色いピクセルは西之島の位置に対応する。黄色とピンクのピクセルは西之島の火山活動による熱異常域を含むと仮定した領域。水色のピクセルは西之島の火山活動の影響を受けていないと仮定した領域。白いピクセルは解析には用いない。

ここで、MAX_IN および SUM_IN は西之島を含むピクセルを対象にしていることから、これらの統計値は火山活動を反映した熱異常域における熱活動の指標となる。一方、Fig. 3.2 の水色ピクセルの放射輝度は火山活動を反映しにくいと考えられることから、その領域から算出された統計値 AVE_OUT および SUM_OUT は、西之島の熱活動を評価するためのバックグラウンドの指標となる。

得られた統計値から、以下に示すふたつの解析手法で火山活動推移の評価の指標として利用できるか検討した。

○解析 1

Table 3.3 で示す期間について、熱異常域における放射輝度の最大値 (MAX_IN) およびバックグラウンドにおける放射輝度の平均値 (AVE_OUT) の変化を求める。MAX_IN は西之島の火山活動を反映していると考えられることから、MAX_IN および AVE_OUT の変化から西之島の火山活動の推移を考察する。

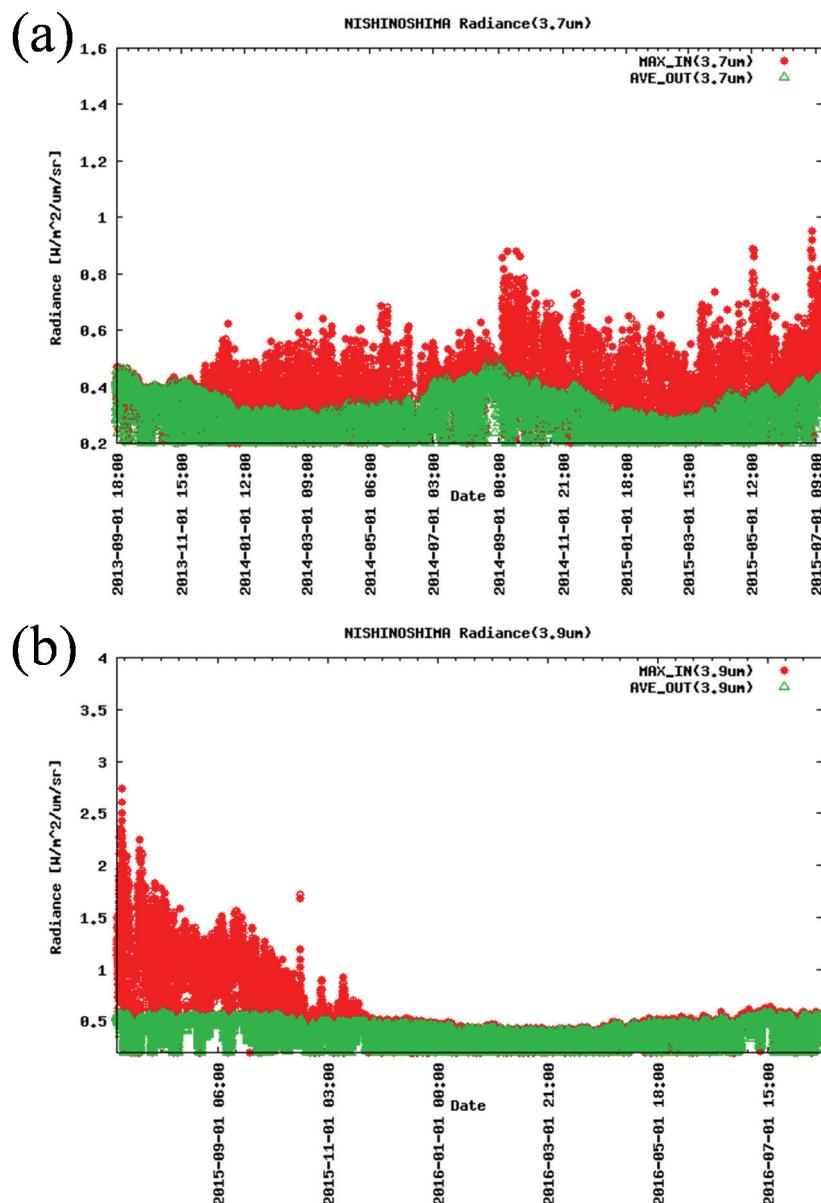


Fig. 3.3 Time series of the maximum radiance observed at and around Nishinoshima (MAX_IN, red circles), and the average radiance observed away from Nishinoshima (AVE_OUT, green triangles). (a) MTSAT-1R/2, September 2013–July 2015. (b) Himawari-8, July 2015–July 2016.
 図 3.3 西之島近傍領域の放射輝度の最大値 (MAX_IN, 赤丸) および西之島周辺領域の放射輝度の平均値 (AVE_OUT, 緑三角) の時系列. (a) MTSAT-1R/2, 2013/9–2015/7. (b) Himawari-8, 2015/7–2016/7.

○解析2

衛星観測で得られる放射輝度の総量は、噴火の際に放出された熱エネルギー総量の一部に置き換えられると考える。熱異常域における熱エネルギー総量に置き換わるパラメータとしてSUM_INを、またバックグランドから放出される熱エネルギー総量に置き換わるパラメータとしてSUM_OUTを求め、これら放射輝度の総量が火山活動の推移に活用可能か検討する。

3.3.3 結果と考察

Table 3.3 で示した期間における MAX_IN および AVE_OUT の推移を Fig. 3.3 に、 SUM_IN および SUM_OUT の推移を Fig. 3.4 に示す。図はそれぞれ MTSAT-2 観測より得られた結果を(a)に、 Himawari-8 観測より得られた結果を(b)に示している。

3.3.3.1 解析1の結果と考察

Fig. 3.3 (a)を見ると 2013 年 9 月から 10 月までは MAX_IN と AVE_OUT の差にほとんど差は見られないが、西之島の火山活動が活発化したとされる 2013 年 12 月上旬頃より MAX_IN が AVE_OUT を上回る傾向となっている。期間を通して AVE_OUT の緩やかな変動が見られるが、AVE_OUT は海面に対応するピクセルの放射輝度より求めていることから、この変動は海面水温の季節変動を反映しているものと考えられる。一方、MAX_IN は AVE_OUT と異なり短期間に大小の変動をしていることから、火山活動に伴う熱活動を反映しているものと考えられる。温度の高い溶岩流の活動はあった場合などに高い放射輝度として観測されているものと考える。ただし、実際には大気や気象雲による放射吸収効果があるため、観測値は噴出物が放射する放射輝度をそのまま反映しているとは限らないことに留意する必要がある。

Fig. 3.3 (b) から MAX_IN が AVE_OUT を明らかに上回る傾向は 2015 年 11 月下旬頃まで継続しており、高温噴出物を伴う火山活動はこの頃まで継続したものと推察できる。さらに、2015 年 12 月以降は MAX_IN と AVE_OUT はほぼ同じ放射輝度で推移していることから、この時期には高温噴出物を伴う火山活動は低下したものと推察する。なお、3.2.3 項でも触れたように MTSAT-1R/2 で観測される放射輝度と Himawari-8 で観測される放射輝度は異なるため Fig. 3.3 (a) および (b) の縦軸スケールを同一に表示していない。

3.3.3.2 解析2の結果と考察

MTSAT-1R/2 の帯域 IR4 および Himawari-8 の帯域 #7 で観測した放射輝度の総和を求める。放射輝度の総和は西之島から放出される熱エネルギー量の一部にも対応すると考えられることから、基礎調査としてその変動を見ることから始める。

Fig. 3.4 (a) および (b) に全期間における SUM_IN および SUM_OUT の推移を示す。前述の解析1の結果と同様に、Fig. 3.4 (a) では 2013 年 9 月から 10 月までは SUM_IN と SUM_OUT の差はほとんどなく推移し、11 月上旬頃より SUM_IN が SUM_OUT を上回る傾向を示している。このことから放射輝度の総和も火山活動に伴う熱活動を反映した結果が得られたものと考える。しかしながら、期間を通して SUM_IN と SUM_OUT の差は顕著でなく、特に 2014 年 7 月から 2014 年 8 月にかけての差は他の期間と比べて小さい。MAX_IN および AVE_OUT の推移と比べると、SUM_IN および SUM_OUT の推移は熱活動を顕著に反映しているとは言い難い。今回、SUM_IN および SUM_OUT の算出には 3.3.2 項で述べたように衛星データの西之島に相当するピクセルを中心として、固定した範囲内のピクセルの放射輝度を用いている。計算対象のピクセルを固定したため、高温噴出物由来の放射輝度領域を反映していないバックグランドの

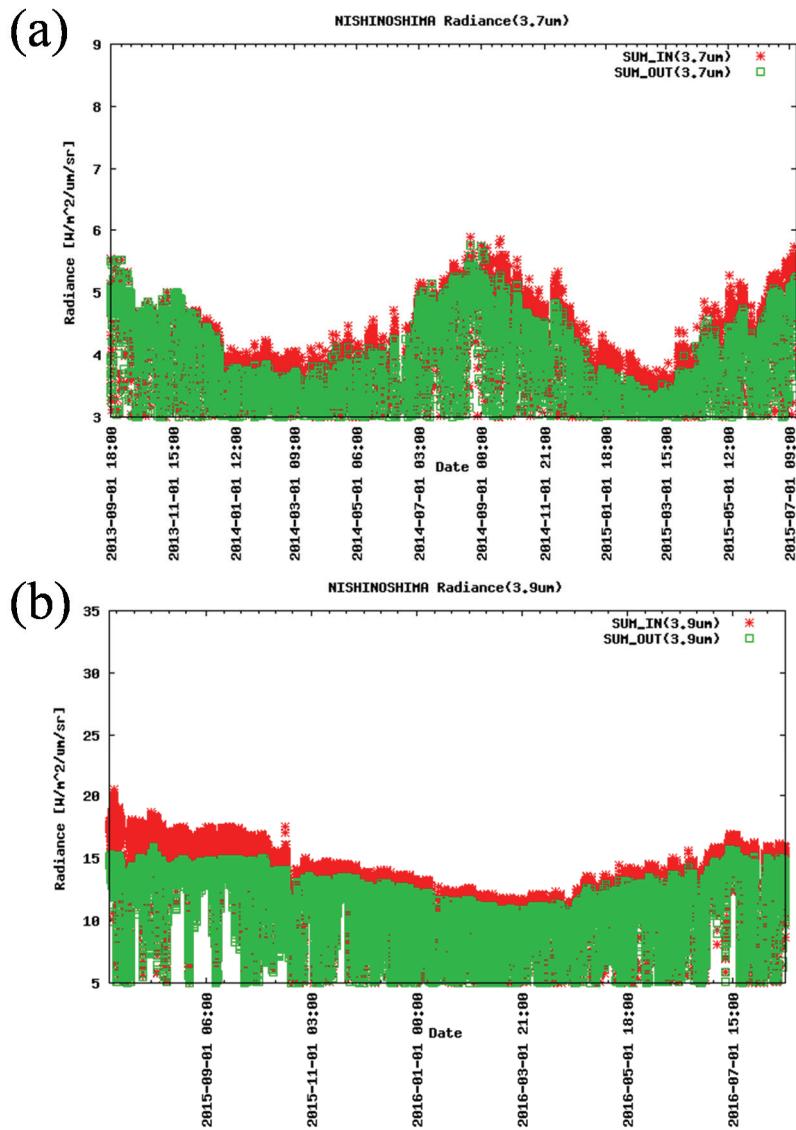


Fig. 3.4 Time series of the total radiance observed at and around Nishinoshima (SUM_IN, red asterisks), and the total radiance observed away from Nishinoshima (SUM_OUT, green squares). (a) MTSAT-1R/2, September 2013–July 2015. (b) Himawari-8, July 2015–July 2016.

図 3.4 西之島近傍領域の放射輝度の総和 (SUM_IN, 赤米印) および西之島周辺領域の放射輝度の総和 (SUM_OUT, 緑四角) の時系列. (a) MTSAT-1R/2, 2013/9–2015/7. (b) Himawari-8, 2015/7–2016/7.

ピクセルも SUM_IN の算出対象となり、結果として SUM_IN と SUM_OUT の差が顕著とならなかつたものと推察する。また、Fig. 3.3 (b)では2015年11月から12月にかけて熱活動の低下傾向が見て取れたが、Fig. 3.4 (b)では2015年12月以降もSUM_IN がSUM_OUT より大きい傾向が継続しており、3.3.3.1の解析1の結果とは異なる。このことから、放射輝度の総和を用いた火山活動の評価のためには解析2の手法は改善の余地を残した。

具体的な改善手法として、熱異常を呈するピクセルのみを抽出する手法の開発や大気による放射の吸収効果を補正する手法を検討したうえで、正確な放射輝度の総和を算出する必要がある。

3.3.3.3 MTSAT-1R/2 データと Himawari-8 データの接続

これまでの結果より、放射輝度の総和による解析2は課題が残ったものの、解析1は火山活動の推移を把握できたものと考える。しかし、期間中に仕様の異なるセンサーに切り替わっているため、観測される放射輝度の絶対値が異なる。そこで、ここでは解析1によるMTSAT-1R/2の放射輝度の時系列とHimawari-8の放射輝度の時系列を接続する

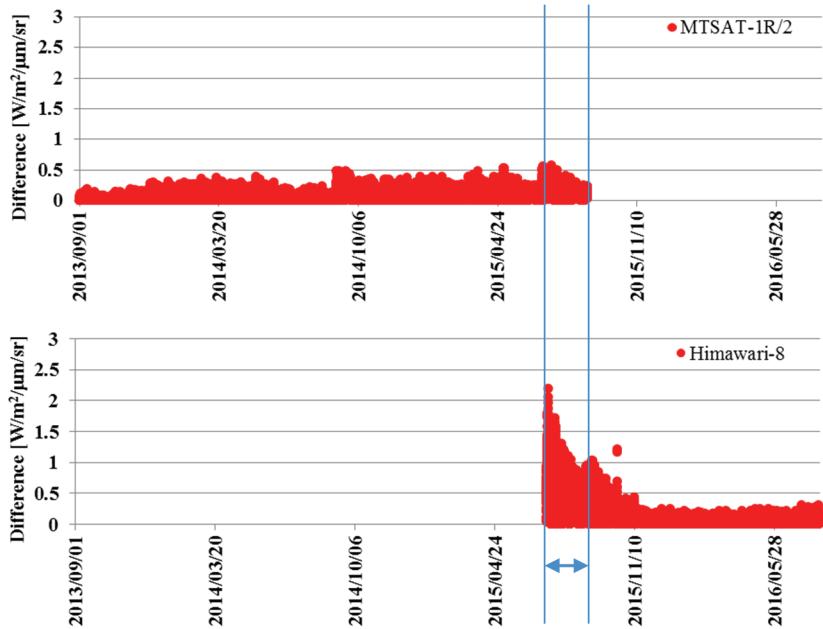


Fig. 3.5 Time series of the radiance difference between MAX_IN and AVE_OUT. The double-sided arrow represents the period of parallel operation of MTSAT-2 and Himawari-8. The correction coefficient used to join the two time series was calculated by comparing the datasets during the period of overlap.

図 3.5 放射輝度の差(MAX_IN-AVE_OUT)の時系列. MTSAT-2 と Himawari-8 の平行運用期間を矢印で示す. 平行運用期間における MTSAT-1R/2 と Himawari-8 の MAX_IN-AVE_OUT 値を比較することで時系列の接続に用いる補正係数を求める.

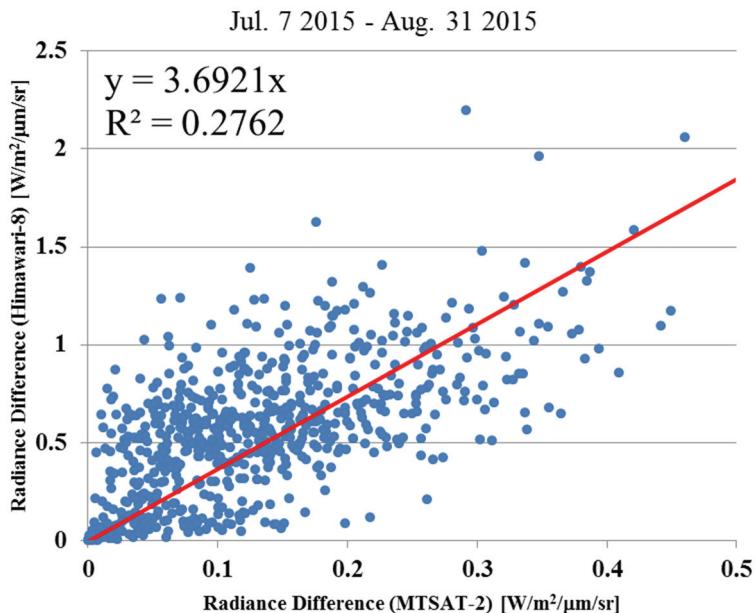


Fig. 3.6 Linear regression between the radiance difference recorded by MTSAT-2 and Himawari-8 during 7 July – 31 August 2015. The magnification correction was 3.69.

図 3.6 2015年7月7日から8月31日の期間における MTSAT-2 と Himawari-8 から求めた放射輝度差分値の相関. 補正係数は 3.69 となった.

ことを試みる. MTSAT-1R/2 の空間分解能は 4km であるのに対して Himawari-8 では 2km である. このため、両衛星が同一時刻に同一領域を観測しても平均化の影響のため 1ピクセルにおける放射輝度は MTSAT-1R/2 よりも Himawari-8 の方が高くなる. 従って、期間の接続は放射輝度の平均化の影響を補正する必要がある. 解析 1 で求めた MAX_IN および AVE_OUT の差の時系列を Fig. 3.5 に示す. ここで、2015年7月7日に MTSAT-2 から Himawari-8 に運用衛星

が切り替わっている。しかしながら、MTSAT-2 は運用終了後も数ヶ月の間は観測を継続しており、その期間までは Himawari-8 との比較が可能である。そこで、両衛星の運用が重複した期間 2015年7月7日～8月31日 (Fig.3.5 の矢印で示した期間) の観測データを用いて、MTSAT-2 による放射輝度の補正を行った。

Fig.3.6 は 2015 年 7 月 7 日～8 月 31 日の期間について MTSAT-2 データから求めた MAX_IN および AVE_OUT の差と Himawari-8 データから求めた MAX_IN および AVE_OUT の差のうち正時の値について相関を求めた図である。両者の補正係数は 3.69 (決定係数 0.276) と求められた。この値を MTSAT-1R/2 における MAX_IN と AVE_OUT の差に乗じることによる補正を行い、Himawari-8 データから求めた差との接続を行った。ここで Himawari-8 の空間分解能は面積で MTSAT-1R/2 の 4 倍となることを考慮すると、この値は放射輝度の平均化効果を補正する値として妥当と言える。この値を用いて補正した MAX_IN と AVE_OUT の差の推移を Fig.3.7 に示す。第 7 章ではこの図とその他の観測手法で得られた観測データとの比較を行う。

3.4 まとめ

気象庁が運用する静止気象衛星 MTSAT-1R/2 および Himawari-8 の観測データを用いて西之島周辺における放射輝度の推移を調べた。本調査では地表付近の放射を捉えるのに比較的適している中心波長 $3.7\mu\text{m}$ 帯 (MTSAT-1R/2) および $3.9\mu\text{m}$ 帯 (Himawari-8) の放射輝度を用いた。西之島周辺における熱異常域の放射輝度の最大値について 2013 年 11 月から 2016 年 7 月までの推移を調査したところ、2013 年 12 月ころより火山活動による高温噴出物由来と思われる上昇が見られ 2015 年 11 月ころまでバックグランドよりも高い状態が継続したことが分かった。

一方、西之島から放出される熱エネルギー総量を反映していると考えられる放射輝度の総和をもとめ、これを火山活動評価のための指標として用いることが可能かを検討した。放射輝度の総和の推移を求めたが、放射輝度の最大値の推移とは異なる結果となった。この点については熱異常を呈するピクセルのみを抽出する手法の開発や、大気にによる放射の吸収効果を補正する手法を検討したうえで、正確な放射輝度の総量を算出する必要があると考える。

最後に、観測期間と仕様の異なる MTSAT-1R/2 と Himawari-8 の放射輝度の接続を試み、接続は成功した。

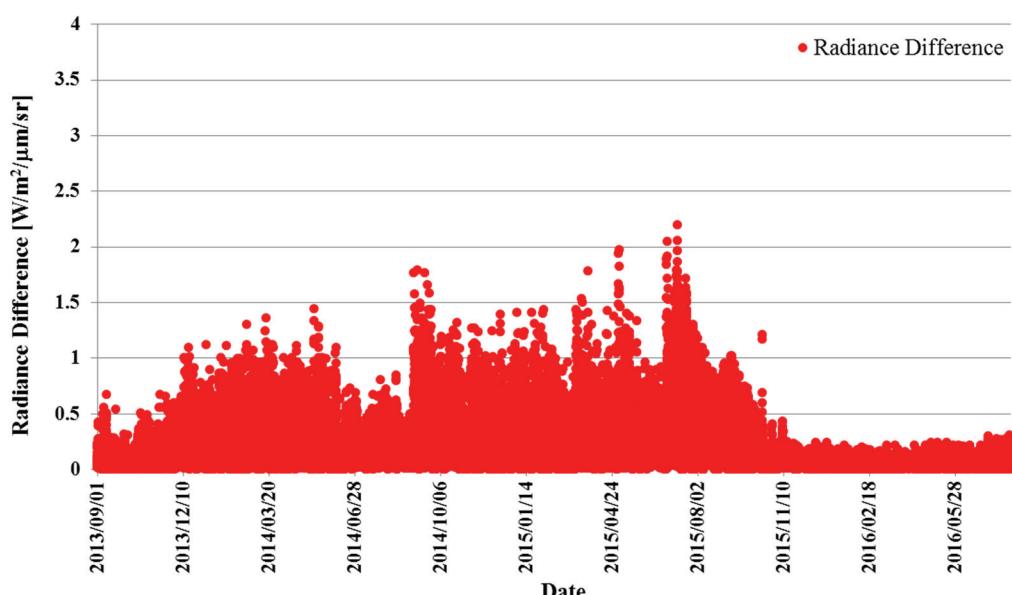


Fig. 3.7 The corrected and combined time series of the radiance difference during the two observational periods.

図 3.7 補正して 2 期間を接合して得られた放射輝度の差の時系列。

謝辞

本調査を実施するにあたり、気象研究所火山研究部の高木室長よりデータ解析手法に関するご助言をいただきました。また、本章を執筆するにあたり、東京航空路火山灰情報センターの稻澤調査官および気象衛星センターの高橋技術専門官より衛星観測に関する文献等をご紹介いただきました。ここに記して、以上の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 気象衛星センター, 2005: 3.7μm 帯画像の解析と利用 運輸多目的衛星新1号 (MTSAT-1R) . 気象庁, p.22,88.
- 隈部良司, 2006: 衛星からわかる気象—マルチチャンネルデータの利用—, 気象研究ノート, **212**, p.93,95.
- 小野智三・濱崎翔五・矢島広樹・伊藤弘志・野上健治, 2015: 西之島火山の 2013–2014 年噴火活動. 海洋情報部研究報告, **52**, 56-78.
- Bessho, K., K. Date, M. Hayashi, A. Ikeda, T. Imai, H. Inoue, Y. Kumagai, T. Miyakawa, H. Murata, T. Ohno, A. Okuyama, R. Oyama, Y. Sasaki, Y. Shimazu, K. Shimoji, Y. Sumida, M. Suzuki, H. Taniguchi, H. Tsuchiyama, D. Uesawa, H. Yokota and R. Yoshida, 2016: An Introduction to Himawari-8/9 Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **94**, 151-183.
- 中澤哲夫, 2016: 気象学の新潮流 3 大気と雨の衛星観測. 朝倉書店, p.5.