

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

衛星熱赤外観測による火山監視に適した時間帯の検討 — CALET搭載CIRCを用いた桜島での事例研究 —

Evaluation of Valid Time Frame for Satellite Thermal Infrared Observation in Order to Monitor Volcano ; based on CALET/CIRC Imagery of Sakurajima Island

高倉 有希, 中右 浩二, 石澤 淳一郎

TAKAKURA Yuki, NAKAU Koji and ISHIZAWA Junichiro

2020年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目次

1. はじめに	1
2. 研究手法	2
2.1. 使用データ	2
2.2. 評価手法	2
3. 成果概要	3
3.1. 時間帯による温度分布の空間的变化	3
3.2. 輝度温度差の時系列評価	3
4. まとめ	4
参考文献	4

衛星熱赤外観測による火山監視に適した時間帯の検討 — CALET 搭載 CIRC を用いた桜島での事例研究 —

高倉 有希^{*1}, 中右 浩二^{*1}, 石澤 淳一郎^{*1}

Evaluation of Valid Time Frame for Satellite Thermal Infrared Observation in Order to Monitor Volcano ; based on CALET/CIRC Imagery of Sakurajima Island

TAKAKURA Yuki^{*1}, NAKAU Koji^{*1}, ISHIZAWA Junichiro^{*1}

ABSTRACT

Night time observation is suitable for volcano monitoring using satellite infrared imagery, because land surface temperature is not affected by solar radiation. However, observation time valid for volcano monitoring is not well known. Therefore, we evaluated the effective observation time at volcano Sakurajima Island around the crater using Compact Infrared Camera (CIRC) mounted on CALorimetric Electron Telescope (CALET). As a result, it was suggested that the observations after 19:00 (winter) or after 21:00 (summer) is appropriate for monitoring for Sakurajima Island.

Keywords: Compact Infrared Camera, CIRC, CALET, Thermal Infrared, Volcano

概要

衛星熱赤外観測による火山監視は日射の影響を受けない夜間が適しているが、小規模な火山活動を捉えることのできる分解能のセンサを用いて火山監視に有効な時間帯を定量的に示した研究は例がない。そこで、高エネルギー電子・ガンマ線観測装置（以下「CALET」）に搭載された地球観測用小型赤外カメラ（以下「CIRC」）を用いて、火口付近における火山活動の観測に有効な時間帯について、桜島を対象に評価した。その結果、遅くとも冬季では19時以降、夏季では21時以降が、日照による地表面温度上昇の影響が十分小さく、火山活動由来の温度変化を観測するのに適していることが推察された。

1. はじめに

我が国は111の活火山¹⁾を有する世界有数の火山大国であり、溶岩流や火砕流により甚大な被害もたらされてきた。噴火の予兆や被害状況を把握には、地上観測器（地震計、空振計、傾斜計等）や衛星搭載合成開口レーダ（SAR）が用いられてきた。さらにJAXAでは、これに加え、衛星に搭載した熱赤外線センサによる火山監視の研究を開始した。

衛星での熱赤外観測は、上空から地上の熱の放射を捉えることができ、地熱異常域や溶岩流の把握に適している。しかし一般的に、昼間の熱赤外観測で観測された温度変化には、火山活

動による変動だけでなく、日射による地表面の加熱に由来する地表面温度の変動が含まれるため、温度変化の原因を切り分けることは困難である。しかし衛星搭載の熱赤外センサは日射の影響を受けない夜間の観測も可能であり、火山活動に伴う地熱変化を捉えるのに適している。その一方で、明け方や夕方での衛星熱赤外線観測がどの程度日射の影響を受けるのかはこれまで十分に知られていなかった。

そこで我々は、CIRC²⁾を用いて火山監視に有効な時間帯の検証を行った。CIRCは、森林火災や火山、都市部のヒートアイランド現象の観測を目的³⁾とした熱赤外線センサで、観測波長は

doi: 10.20637/JAXA-RM-19-009/0001

* 2019年12月4日受付 (Received December 4, 2019)

^{*1} 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター (Satellite Application Operations Center, Space Technology Directorate I)

8-12 μm (単バンド)、空間分解能は130 mである。2015年に打ち上げられたCALET搭載CIRC²⁾の大きな特徴は、観測時間が日々異なる点である。これは、CALETを搭載した国際宇宙ステーションが太陽同期軌道ではない軌道上にあることであり、明け方や夕方をも観測が可能である。

本研究では、CALET搭載CIRCの特徴を生かし、火山監視における熱赤外観測に有効な時間帯の検証を行った。2016年から2019年までのデータを用いて桜島を対象とした評価結果について報告する。

2. 研究手法

2.1. 使用データ

CALET 搭載 CIRC の 2016 年 1 月から 2019 年 1 月までの観測データを使用した (表 1)。なお、桜島上空が雲で覆われているデータは除外した (赤外観測は雲による遮蔽を受けるため)。

表 1：評価に用いたデータの観測日時

観測日	観測時間 (JST)
2016 年 1 月 16 日	1:29:46
2016 年 5 月 13 日	2:29:43
2016 年 10 月 6 日	16:04:03
2016 年 11 月 28 日	18:57:42
2017 年 2 月 6 日	23:12:13
2017 年 9 月 18 日	21:53:38
2018 年 5 月 11 日	0:43:02
2019 年 1 月 19 日	4:07:21

2.2. 評価手法

桜島 (南岳) は標高 1,040 m の成層火山⁴⁾で円錐状の形状であり、時間帯によって太陽光が当たる斜面が変化する。例えば、夕方は太陽の方位が西寄りとなるため、西側斜面は東側と比較して高温になりやすい。また、比較的傾斜の小さい楕状火山と比べて、成層火山は日陰がはっきりするため、斜面による温度差が大きくなる。そのため、日射により加熱された西側斜面は、日没後に徐々に放射で冷却し、東側斜面との温度差が縮小する。その結果、時間の経過と共に火口付近の火山活動に伴う高温部が明瞭に判読できるようになる。

本研究では、この傾向を把握するために、西

側斜面と東側斜面の輝度温度差を比較し、日射に起因する温度上昇の大きさを定量的に調べた。また、輝度温度差を用いることで、日変動や季節変動による温度変化の影響を打ち消し、日射の影響だけを把握できると考えられる。

先述の通り、桜島は成層火山であり、円錐形の形状をしているため、斜面方位や斜度が比較的一様である。この特徴は、西側斜面と東側斜面をまとめた形で抽出できる点で、本解析に適していると考えた。さらに、桜島の様に比較的急峻な成層火山では斜面方位による地表面温度差が大きくなる。そのため、桜島を対象として得られた有効時間帯に関する知見は、他の形状の火山の活動監視にも活用できると考える。

まず、傾斜角 10° 以上、標高は 500 m 以上のうち、斜面方位が $260\sim 280^\circ$ を西側斜面、斜面方位 $80\sim 100^\circ$ を東側斜面と定義した (図 1)。

また、ALOS-2 搭載 CIRC (分解能 210 m) では、2016 年の桜島噴火時に、火口及びその周囲で約 17°C の輝度温度差⁵⁾が、2015 年に噴火警戒レベルが 4 (避難準備) に引き上げられた際に約 5°C の輝度温度差⁶⁾が観測された (いずれも夜 12 時頃の観測) ことから、本研究では火口付近の温度異常を捉えることのできるのは西側斜面と東側斜面の輝度温度差が $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内の場合と定義した。

そこで、西側斜面と東側斜面の輝度温度の差を観測時刻ごとに求め、その差が $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内となる時刻範囲を調べた。

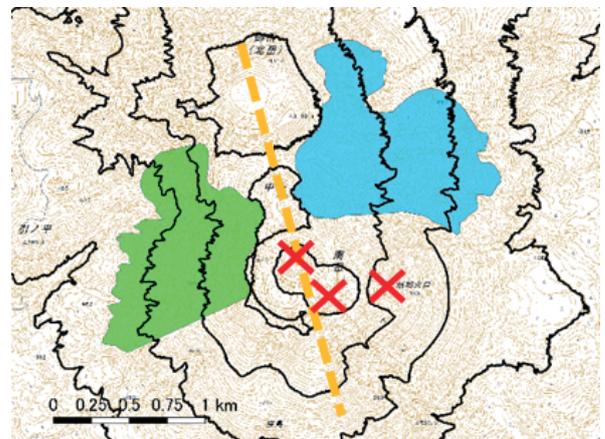


図 1：桜島南岳付近の西側斜面(緑)・東側斜面(青)の定義域及び南岳付近の火口位置³⁾(赤印)

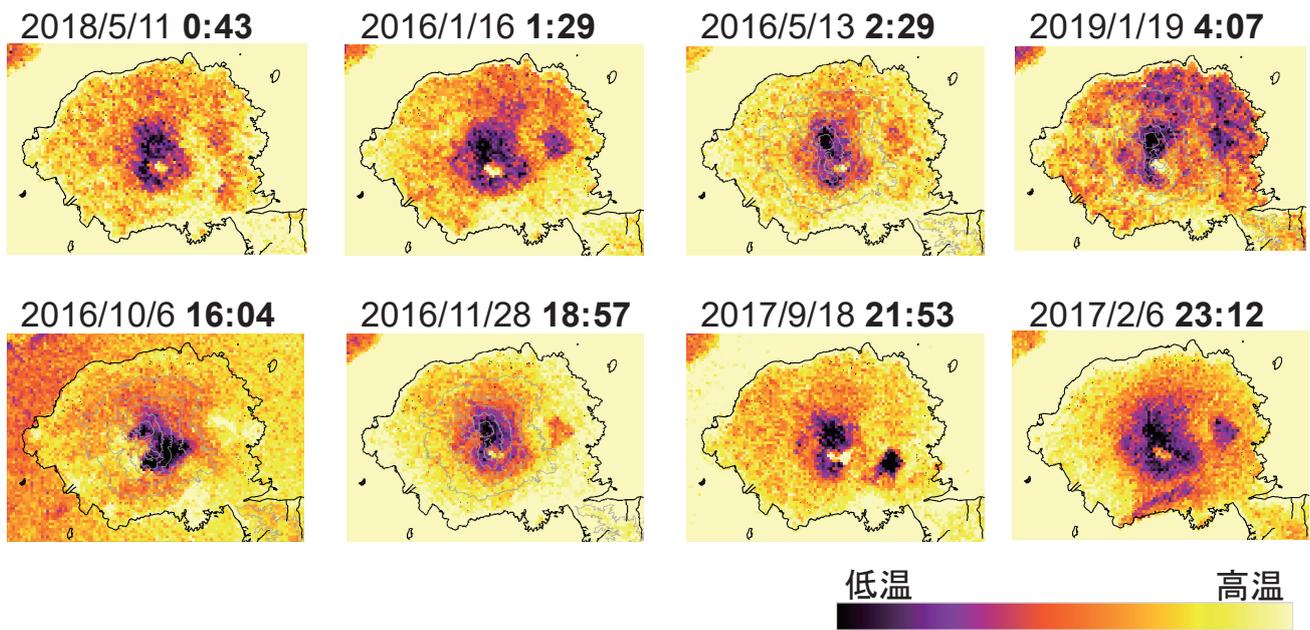


図2：CALET搭載CIRCによる桜島の観測結果（火口付近の高温部を強調するように色付け）

3. 成果概要

3.1. 時間帯による温度分布の空間的変化

図2にCIRCで観測した桜島の熱赤外線画像を時刻順に示す。日の出前の0時43分から4時7分までは火口の高温部が観測できるが、日没前の16時4分には相対的に西側斜面が高温となり、火口の高温部が観測できないことがわかる。その後18時57分以降になると再び火口の高温部が観測できる様子がみられる。

季節により日没時間や日射量が異なることに注意が必要であるが、2016年11月28日の日没時刻はおよそ17時20分であることから、少なくとも日没後約1時間37分後以降は日射の影響が緩和し、火口付近の高温部を識別できることがわかる。

3.2. 輝度温度差の時系列評価

図3に、本手法で算出した西側斜面と東側斜面の輝度温度差の時間推移を示す。10月6日16時4分の輝度温度差は+2.5℃であり、火口付近の監視には適さない。一方、それ以外の全ての事例では輝度温度差が±1℃内であり、火口付近の温度異常を判読可能なレベルであることが確かめられた。また、図3のグラフから日没後、時間の経過とともに日射による西側斜面の加熱の影響が緩和し、輝度温度差が小さくなる様子も確認できる。

3.1節でも示したように、日没後約1時間37分経過後から輝度温度差が十分小さくなる。季節により日照・日没時間が異なるが、桜島の日没時間は1年間のうち早くて17:20（冬季）、遅

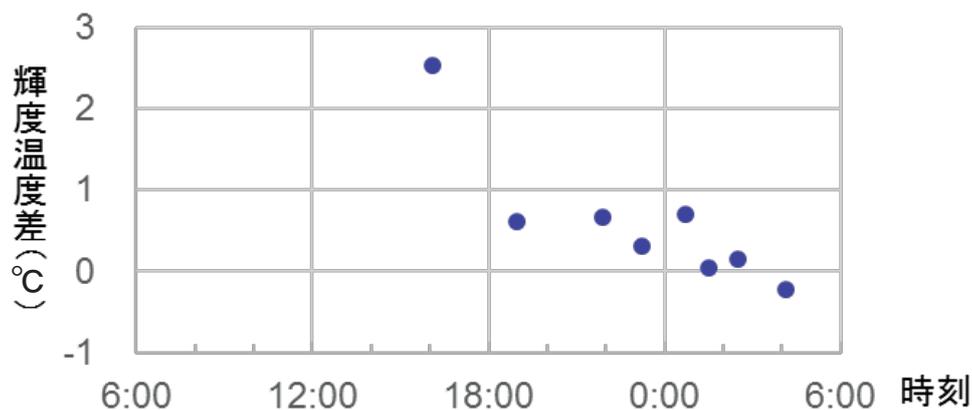


図3：桜島西側斜面と東側斜面の輝度温度差の時間推移

くて19:32(夏季)である⁷⁾ことから、桜島の場合は火口付近の観測には遅くとも18:57(冬季)~21:09(夏季)以降の観測が適していることが推察された。ただし、温度変化は季節変化や天候の影響を受けるため、より厳密な解析にはこれらの影響も考慮することが必要である。

4. まとめ

本研究では、観測時刻が日々異なる CALET 搭載 CIRC を用いて、衛星熱赤外観測による火山監視に有効な時間帯評価を桜島を対象に行った。結果として、桜島の場合は火口付近の観測には遅くとも19時(冬季)から21時(夏季)以降の観測が適していることが推察された。

無償公開される高分解能(130 m)の熱赤外線センサーの中で、多様な時間に観測できるセンサーは2018年7月まで他に例がなかった。また、衛星赤外線センサーを用いた火山活動の監視における赤外線観測有効時間帯の確認は本研究が初めてである。熱赤外観測が火山監視に有効な時間帯の把握は、衛星による熱赤外観測の将来ミッションの検討のためにも重要である。

以下に今後の課題を述べる。本研究では2016~2019年の観測データを用いたが、CALET 搭載 CIRC は観測期間が少ないことに加え、被雲の影響を大きく受けたため有効なデータが8件と少なかった(2016~2019年の観測機会は全31回、うち23回は被雲であった)ため、季節変化等を考慮した検討が十分にできなかった。16時から19時付近の観測事例を増やすことができれば、より正確に有効観測時間帯を評価できる。なお、CALET 搭載 CIRC は2019年3月末に運用終了したが、例えば、2018年7月から国際宇宙ステーション「きぼう」(JEM)曝露部で運用を開始した米国ジェット推進研究所のECOsystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) 観測データ等により、さらに詳細な研究が期待される。

参考文献

- 1) 気象庁, 日本活火山総覧(第4版)追補版, 2017-06
- 2) 酒井理人, 地球観測用小型赤外カメラ(CIRC), 26(1), 2016-08, pp.42-49
- 3) 中右浩二, 地球観測用小型赤外カメラ

- (CIRC)の利用実証(特集 宇宙からの赤外線観測), 日本赤外線学会誌, 29(1), 2019-08, pp.11-17
- 4) 気象庁, 日本活火山総覧(第4版)追補版, 2017-06
- 5) JAXA, 第134回火山噴火予知連絡会資料, その2の1, 2016, pp.46-47
- 6) JAXA/EORC, 「だいち2号」による桜島の観測結果について, 2015, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_sakurajima_20150816-17.htm, 2019年5月24日参照
- 7) 国立天文台, こよみの計算, 1994, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/koyomix.cgi>, 2019年5月24日参照

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-19-009
JAXA Research and Development Memorandum

**衛星熱赤外観測による火山監視に適した時間帯の検討
— CALET搭載CIRCを用いた桜島での事例研究 —**

Evaluation of Valid Time Frame for Satellite Thermal Infrared Observation in Order to Monitor Volcano ; based on CALET/CIRC Imagery of Sakurajima Island

発 行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1
URL: <http://www.jaxa.jp/>

発 行 日 2020年2月21日
電 子 出 版 制 作 松枝印刷株式会社

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。
Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

