

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23241055

研究課題名(和文) 次世代衛星と噴火推移データベースによる東アジア活火山観測の高度化

研究課題名(英文) Improvement of observation of active volcanoes in east Asia based on utilization of next generation satellites and database of eruption sequences

研究代表者

金子 隆之 (KANEKO, Takayuki)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：90221887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,400,000円

研究成果の概要(和文)：地球上には多数の火山が分布するが、その大半は恒常的な観測体制が敷かれていない。我々衛星赤外画像による観測システムの開発と観測に取り組んできた。本研究は、旧来のMODISとMTSATから、新しいGCOM-C/SGLIとひまわり8号/AHIベースのシステムへの移行を進め、観測能力の向上を図った(GCOM-Cの打上は2016年末に延期された)。また、これらのデータを用いた観測手法の高度化について、高頻度低分解能(AHI)・中頻度中分解能(SGLI)・高分解能低頻度の3種類のデータを組合せて解析を行う方法を考案し、インドネシア、ラウン火山噴火を用いて具体的な検討を行い、その有効性を確かめた。

研究成果の概要(英文)：We had developed and operated a realtime monitoring system based on MODIS and MTSAT for monitoring active volcanoes in east Asia. Between 2015 and 2017, their new generation satellites, Himawari-8/AHI and GCOM-C/SGLI (launch was delayed to be in December 2016) begin operation. We developed a new observation system consisting of these two new satellites to enhance the observation capability. Further, for more precise analysis, we developed a combined method of analysis using low-resolution/high frequency images from AHI, medium-resolution/medium frequency images from SGLI, and high-resolution/low frequency images from commercial satellites. We assured usefulness of this method through the analysis of the 2015 Raung eruption, Indonesia.

研究分野：火山学

キーワード：火山 衛星 リモートセンシング Web 火山防災 噴火推移 東アジア

### 1. 研究開始当初の背景

東アジアには多数の火山が分布するが、大半は恒常的な観測体制が敷かれておらず、噴火観測の空白域となっている。これは貴重な学術データ収集の機会を逸しているのみならず、防災上の懸念ともなっている。観測により噴火の兆候や活動状況が確認できれば、事前に対策をとることも可能となる。しかし、その前提となる火山観測網の構築と維持には多大なコストと人手がかかり、東アジア全域が対象となれば、その実現は不可能に近い。また、噴火予測をする上で手掛かりとなる最近の噴火推移データも、ほとんど得られていない火山が多い。

### 2. 研究の目的

東アジア活火山の観測と防災に資するため、我が国の次世代衛星 GCOM-C1、ひまわり 8 号 8/AHI 画像を利用した観測システムを立ち上げその高度化を図ることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は、以下の 3 点を中心に進めた。次世代衛星 GCOM-C1/SGLI に搭載される SGLI のリアルタイム処理システムを開発する。また、SGLI の特性を生かした熱異常のインデックスを溶岩流の物理モデル等を用いて検討する。ひまわり 8 号/AHI 画像のリアルタイム処理システムを開発する。性質の異なる複数種の画像を組合せて、噴火推移を詳細に把握する手法を開発し、その高度化を図る。また、得られた噴火推移を系統的に整理する。なお、GCOM-C1 の打上げが 2016 年末に延期されたため、当初計画していた研究の一部に着手することができなかった。

### 4. 研究成果

#### (1) SGLI による溶岩流の観測：物理モデルを用いた打上前の検討

溶岩流は、最も基本的な火山噴出物の 1 つであり、噴火推移を理解する上で重要な要素でもある。ここでは、GCOM-C/SGLI 画像の打上げ前の検討として、溶岩流の物理モデルから得られた SGLI のシミュレーション画像を用いて、得られる情報について検討を行った。溶岩流は、火砕流や降下堆積物等の噴出物とは異なり、連続的な液体としてマグマが地表に溢れ出る点に特徴がある。中心課題として検討を行ったのは、SGLI を利用することにより、溶岩流の空間的な分布状況の観測が従来の MODIS 等に比べどの程度改善されるのか。溶岩流の活動レベル、すなわち噴出率の変化の検出は可能か、その場合どのような方法(インデックス)をとるのが良いか、等の点である。

ここでは、数値モデルにより溶岩流流下プロセスの計算を行い、その際に生成される溶岩流の表面温度分布を用いて、SGLI と MODIS

のシミュレーション画像を作成し、検討のための基礎データとした。

溶岩流の数値モデルとして、Ishihara et al.(1990)を採用した。本モデルは溶岩流をピングム流体として近似するものである。地形データは国土地理院提供の 10m メッシュ DEM を利用した。

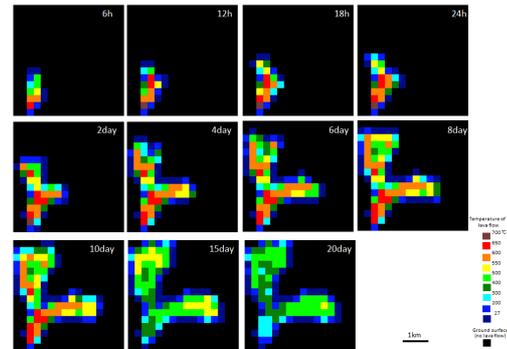


図1 画素サイズ 250m 観測波長 1.6 $\mu$ m のシミュレーション画像 (噴出率 300m<sup>3</sup>/Sec)

SGLI の 250m 分解能の赤外画像は、MODIS の 1km 分解能の画像に比べ、はるかに溶岩流の分布や噴出点の観察、検知に有効であることが確かめられた(図1)。インデックスを用いた時系列変化でも、SGLI は MODIS に比べはるかに有利であることがわかった。SGLI は、高い分解能をもつ 1.6 $\mu$ m のチャンネルがあり、SGLI-Mx1.6BT は噴出率の違いと共に、噴出率の変化も敏感に反映する。ただし、画素が小さいため表面温度が数 100 を超えるような場合飽和する恐れがある。SGLI は、複数画素のインデックス(例、Sz1.6BT > 閾値)を利用して噴出率の違いを観測することも有効なことが確認できた(図2)。

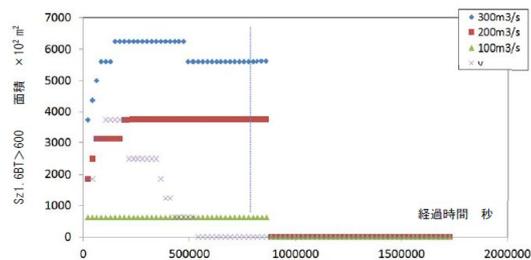


図2 250 m 画素サイズ 1.6 $\mu$ m チャンネル画像の複数画素インデックス (Sz1.6BT > 600, 600 より高温の画素数) の時系列変化。

#### (2) GCOM-C/SGLI データ処理のプロトタイプシステムの開発

GCOM-C/SGLI の打上げ後、直ちに観測に着手できるように、SGLI のデータ処理システムのプロトタイプを開発した。本研究で開発を進めたシステムは、JAXA からの SGLI 画像ダウンロード、基礎的なデータ処理、熱異常の検出、結果の Web での公開、とい

ったルーチンから構成される(図3)。これらに加え、実際の運用ではデータを蓄積するためのアーカイブシステムが必要となる。

基本的なデータ処理は、フォーマット変換、データ変換、各火山の切り出しから構成される。フォーマットの変換では、イリノイ大学が開発した“h5dump”を利用してオリジナルのHDFデータからヘッダと画像データを取り出す。データ変換では画像のCCT値からヘッダのパラメータ等を参照し、輝度および輝度温度画像を生成する。各火山の切り出しでは、観測対象の火山(148火山)を中心とした100km×100kmの領域を選択し取り出す。これらのサブセット画像は、アーカイブとして保存されると共に、次の熱異常の検出に送られる。

観測対象とする火山毎に、過去1年間の熱異常の時間変化(Mx1.6T)を算出すると同時に、最新画像(1.6μmと11μm)をWeb上に表示させる。JAXA提供のシミュレーションプログラムを用いて、ここで開発したシステムが正しく動作することを確認した。

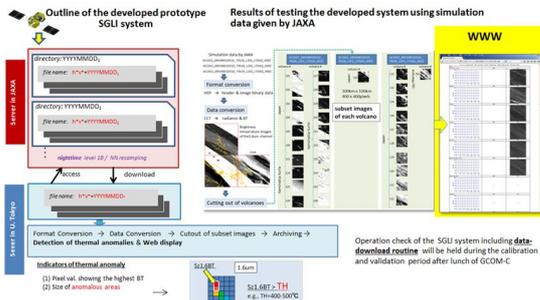


図3 GCOM-C/SGLI データ処理のプロトタイプシステムの開発

(3) ひまわり8号のAdvanced Himawari Imager(AHI)画像を利用したリアルタイム観測システムのプロトタイプの開発

2014年11月にひまわり8号が打ち上げられ、2015年7月よりそのAHI画像の公開が始まった。本研究はひまわり8号AHI画像を10分毎に処理し、東アジア148活火山のデータをリアルタイム観測するシステムのプロトタイプの開発を進めた。AHIデータは、通信情報機構(NICT)のNICTサイエンスクラウドから10分毎にダウンロードし、逐次処理を行っている。処理ルーチンでは、輝度補正、幾何補正を行った後、1.6μm、2.3μm、3.9μm、11μm、12μmの画像について、対象火山を中心とする101画素×101画素の領域を切り出し保存する。同時に、この各火山の画像から火山口付近で最高値を示す画素を抽出し、その輝度温度の時間変化を示すチャートを作成する。これらの画像、チャートをリアルタイム、アーカイブを含め、Webベースで閲覧、取り出しができる機能を付加した。



図4 ひまわり8号のAdvanced Himawari Imager(AHI)画像を利用したリアルタイム観測システム

(4) 高分解能画像、超高頻度画像(ひまわり8号/AHI)、中分解能画像(GCOM-C/SGLI)の組合せ解析の検討 - ラウン2015年6-8月噴火による事例研究 -

我々はリアルタイム観測システムを、衛星の世代交代や新衛星の投入に対応して「MODIS」+「ひまわり6号、7号/MTSAT」によるシステムから、「GCOM-C/SGLI」+「ひまわり8号/AHI」を中心とするシステムへ移行を進めている。これとリンクして、噴火推移の解析について、これらの新しいリアルタイムデータに「高分解能画像」を加え、空間分解能50cm、時間分解能10分レベルでの観測の実現とその解析方法の高度化に取り組んでいる。

上記方法の有効性を確認するため、ラウン火山2015年6-8月噴火を例として、「ひまわり8号/AHI」+「高分解能画像」を用いた噴火推移解析の有効性の検討を行った。ラウン火山はインドネシア、ジャワ島に位置する。

ひまわり8号/AHIデータを用いてラウン火山2015年6-8月噴火の期間を含む3ヶ月間の熱異常の時間変化を解析した(図5)。この結果活動は下記のようにステージ区分できることが判った。

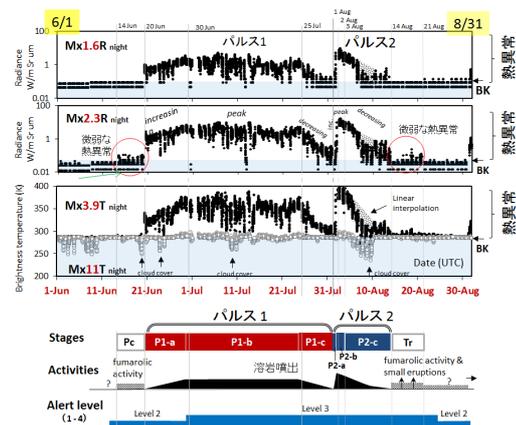


図5 AHI赤外バンドの時間変化(夜間のみ)とそれに基づくステージ区分

前駆期 6月14-19日  
 パルス1 6月20日 - 7月31日(42日間)  
 上昇期 6月20日 6月29日  
 最盛期 6月30日 7月24日

低下期 7月25日 - 7月31日  
 パルス2 8月1日 - 8月13日 (13日間)  
 上昇期 8月1日  
 最盛期 8月2日  
 低下期 8月3日 - 8月13日  
 終息期 8月14日 - 20日

また、ラウン火山での解析結果から、AHIによる超高頻度観測を行えば、MODISで捉えることのできなかった特徴的な熱異常の時間変化パターンが見えてくる可能性があることが確認できた。

並行して、分解能 50 cmレベルを中心とする高分解能衛星画像 (Landsat-8 /OLI, SPOT6/7, WorldView-1/2/3, GeoEye-1等) を用いて、ラウン 2015年6-8月噴火の堆積物の拡大状況や火口周辺の地形変化を時間を追って詳しく解析した (図6下段)。

ひまわり8号および高分解能画像の解析を総合的に吟味した結果、以下の推移が明らかになった (図6)。パルス1の溶岩噴出は6月20日に始まり、7月末には低下、パルス2の溶岩噴出が8月1日から13日頃迄続いた。また、溶岩の噴出終了後、火砕丘が恐らくドレインバックによって崩壊した。このタイミングは、溶岩の噴出活動後に見られた微弱な熱異常の低下から8月19日と20日の間と推定される。噴火に先行する熱異常として、パルス1の前に微弱な熱異常、パルス2の数時間前に小さなパルス的な熱異常が発生した。噴出した溶岩は、分布域を拡大させ、7月上旬頃までにカルデラ床の大部分を覆い、その後、層厚が増した。パルス2の溶岩は、パルス1の溶岩の上位北側に広く噴出する、という経過を辿った。

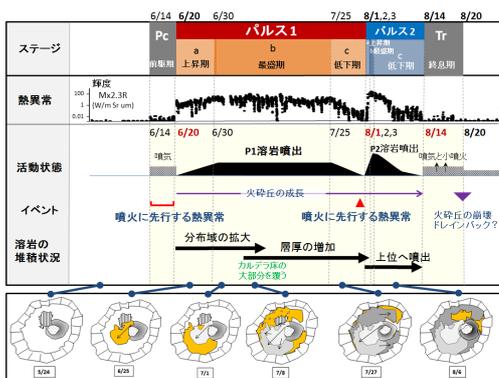


図6 衛星画像の組合せ解析により推定したラウン 2015年6-8月噴火の推移

このようなレベルの判読が可能であることから、性質の異なる複数種の衛星データの組合せによる方法は噴火推移の解析にきわめて有効とであることが確認できた。

#### < 引用文献 >

Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 14, p. 229-443.

Ishihara, K., Iguchi, M., Kamo, K. (1990) Numerical simulation of lava flows on some volcanoes in Japan. In Proc. Volcanol., 2, 174-207

金子隆之・高崎健二・安田 敦・青木陽介 (2006) MODIS 夜間赤外画像による浅間山 2004-2005 年活動の熱観測. 火山, 51, 273-282.

Kaneko, T. and Wooster, M. J. (1999): Landsat infrared analysis of fumarole activity at Unzen volcano: time-series comparison with gas and magma fluxes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 89, 57-64.

Kaneko, T., Wooster, M. J. and Nakada, S. (2002) Exogenous and endogenous growth of the Unzen lava dome examined by satellite infrared image analysis. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 116, 151-160.

Maeno, F., Nakada, S. and Kaneko, T. (2016) Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. Geology, doi: 10.1130/G37461.1

Nakada, S., 1996. Characteristics of lava dome eruption and dome growth model at Unzen volcano. Men. Geol. Soc. Japan 46, 139-148. (in Japanese)

Rothery, D. A., Francis, P. W., Wood C. A. (1988) Volcano monitoring using short wavelength infrared data from satellites. Jour. Geophys. Res. 93, B7, 7993-8008.

Walker, G.P.L. (1971) Walker, G.P.L., 1971, Compound and simple lavaflores and flood basalts: Bulletin of Volcanology, v. 35, p. 579-590, doi: 10.1007/BF02596829.

Wooster, M. J. and Kaneko, T. (1998) Satellite thermal analysis of lava dome effusion rate at Unzen Volcano, Japan. Journal of Geophysical Research, 103, B9, 20935-20947.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12件)

Kaneko, T., Maeno, F. and Nakada, S. (2016): 2014 Mount Ontake eruption: characteristics of the phreatic eruption as inferred from aerial observations. Earth Planets Space, 68, 72, 1-11. 査読あり

Maeno, F., Nakada, S. and Kaneko, T. (2016): Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. Geology, doi:10.1130/G37461.1. 査読あり

Maeno, F., Nagai, M., Nakada, S., Burden, R.E., Engwell, S., Suzuki, Y. and Kaneko, T. (2014): Constraining tephra dispersion and deposition from cyclic subplinian 1 explosions at Shinmoedake volcano, Kyushu, Japan, 2011. Bulletin of Volcanology. 76, 823:1-16. 査読あり

Hashimoto, T., Koyama, T., Kaneko, T., Ohminato, T., Yanagisawa, T., Yoshimoto, M. and Suzuki, E. (2013): Aeromagnetic survey using an unmanned autonomous helicopter over Tarumae volcano, northern Japan. Exploration Geophysics. 45(1) 37-42. 査読あり

安田敦・金子隆之・新堀賢志・藤井敏嗣 (2013): インターフェイスを改良した溶岩流シミュレーションシステムとその防災上の意義. 火山. 58, 379-385. 査読あり

Koyama, T., Kaneko, T., Ohminato, T., Yanagisawa, T., Watanabe, A. and Takeo, M. (2013): An aeromagnetic survey of Shinmoe-dake volcano, Kirishima, Japan, after the 2011 eruption using an unmanned autonomous helicopter. Earth Planets and Space. 64, 657-666. 査読あり

Nakada, S., Nagai, M., Kaneko, T., Suzuki, Y., Maeno, F. and Ichihara, M. (2013): The outline of the 2011 eruption at Shinmoe-dake (Kirishima), Japan. Earth Planets and Space. 64, 475-488. 査読あり

Kaneko, T., Koyama, T., Yasuda, A., Takeo, M., Yanagisawa, T., Kajiwara, K. and Honda, Y. (2011): Low-altitude remote sensing of volcanoes using an unmanned autonomous helicopter: an example of aeromagnetic observation at Izu-Oshima volcano, JAPAN. International Journal of Remote Sensing, 32, 5, 1491-1504. 査読あり

金子隆之・大湊隆雄・小山崇夫・武尾実・渡邊篤志・嶋野岳人・柳澤孝寿・青木陽介・安田敦・本多嘉明 (2011): 自律型無人ヘリにより撮影した新燃岳の火口およびその周辺域. 火山, 56, 171-172. 査読あり

〔学会発表〕(計 9件)

T. Kaneko, A. Yasuda, T. Fujii and K. Kajiwara: Improvement of the volcano monitoring system in east Asia by using SGLI : preparation for realtime high spatial-resolution observation.

GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI workshop, TKP Garden City Takebashi (Tokyo, Chiyoda-ku). 19-22, 2016

Kaneko, T., Yasuda, A., Aoki, Y., Kajiwara, K., T. Fujii and Wooster, M.: Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT data and its advancement by GCOM-C1 SGLI. GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI workshop, TKP Garden City Nagata-cho (Tokyo, Chiyoda-ku), Jan. 12-16. 2015

Kaneko, T., Yasuda, A., Aoki, Y., Kajiwara, K. and T. Fujii: Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT data and its advancement by GCOM-C1 SGLI. GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI workshop, TKP Garden City Takebashi (Tokyo, Chiyoda-ku). Jan. 29- Feb. 1, 2014

金子隆之, 安田敦, Wooster, M.J.: 衛星赤外画像による「連発プリニー式噴火を主とする活動推移」の解析とその特徴付け - サリチェフ 2009年噴火を例に - .日本火山学会, 2014年11月2日 福岡大学 福岡県福岡市).

Kaneko, T., Yasuda, A., Aoki, Y., Kajiwara, K. and S. Kitagawa: Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT data and its advancement by GCOM-C1 SGLI. GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI workshop, TKP Ochanomizu Conference Center (Tokyo, Chiyoda-ku), Jan. 29- Feb. 1, 2013

T. Kaneko, A. Yasuda, K. Takasaki, H. Den and Y. Aoki: REALTIME MONITORING OF ACTIVE VOLCANOES IN EAST ASIA USING MODIS AND MTSAT DATA AND ITS ADVANCEMENT BY GCOM-C1 SGLI. IAVCEI 2013, Kagoshima kenmin koryu center (Kagoshima-ken, Kagoshima), Jul. 20-24, 2013

T. Kaneko: Realtime monitoring of active volcanoes using geostationary and polar orbiting satellite images The 20th Session of the Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, Hanoi (Vietnam), Dec. 3-6, 2013

金子隆之: 衛星リモートセンシングによる東アジア活火山の準リアルタイム観測: GCOM-C1 SGLI による火山性熱源識別の可能性, 日本火山学会, 2012年10月15日, エコールみよた(長野県御代田町)

Kaneko, T., Yasuda, A., Aoki, Y., Kajiwara, K. and S. Kitagawa Realtime

monitoring of active volcanoes in east  
Asia using MODIS and MTSATdata and its  
advancement by GCOM-C1 SGLI, Joint PI  
Workshop of Global Environment  
Observation Mission 2011, TKP Tokyoeki  
Yaesu Conference Center (Tokyo, Cyuou-ku),  
Jan.17-20, 2012

〔その他〕

ホームページ等

[http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALV0  
LC/index.html](http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALV0LC/index.html)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

金子 隆之 (KANEKO, Takayuki)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号 : 90221887

### (2)研究分担者

安田 敦 (YASUDA, Atsushi)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号 : 70222354

### (3)研究協力者

Martin J. WOOSTER

ロンドン大学・キングスカレッジ・教授