

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

衛星赤外画像による噴火推移の観測と類型化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

イ. リモートセンシング技術

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-3) 火山噴火過程

イ. 噴火の推移と多様性の把握

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

MODIS, MTSAT 等の高頻度型の衛星赤外画像を利用して, 東アジア地域に分布する火山の観測を行い, 噴火推移に関するデータを収集する. 得られたデータの比較分析や他衛星データ・地上観測データとの統合的解析を行い, 噴火推移の解析や類型化, その違いを生むプロセスの解明研究を実施する.

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21~22 年度は, 2007 年~2010 年にかけて MODIS, MTSAT によって収集された噴火データの整理と現地情報のコンパイルにあたる.

平成 23~24 年度は, MODIS と MTSAT との比較分析を実施し, 熱異常の時間変化と噴火発生の関係等を検討する. また, 高分解能画像等のデータを併せた検討を行い, 噴火推移の分析, 類型化を試みる.

平成 25 年度は, 国内噴火を対象に, 衛星と地上観測データの統合的な解析を行い, 噴火推移の解析や, その違いを生むプロセスの解明に取り組む.

(7) 平成 23 年度成果の概要：

前年度の成果報告書でも記したように, 平成 23 年度の主要テーマの 1 つとして, 新衛星 GCOM - C1 を用いた衛星観測システムの高度化がある. 本年度は, 衛星観測システムの運用と共に, この課題の検討に重点を置いて研究を進めた.

(背景)

東アジアには数多くの火山が分布しており, 毎年, そのいくつかが噴火している. 東アジアの火山は, プレートの沈み込みによって生じているものが大半で, 安山岩~デイサイト質の粘性の高いマグマからなることが多い. このため, しばしば爆発的噴火を起こし, 火砕流等を発生させることがある. 東アジアにおける火山災害は, このような火砕流によって引き起こされることが多く, この監視は重

要な課題となっている。一方、広大な東アジア地域では、火山の分布域はアクセス良い場所に限られる訳ではない。最近の噴火記録のある火山だけでも数 100 以上に上り、この全てに、地震計、GPS、監視カメラといった観測機器およびその保守要員を配置することは不可能である。実質的には、全てをカバーできるのは衛星による観測が唯一の方法となっている。

このような背景から、我々は、衛星を利用した観測システムを立ち上げ、東アジアの主要 147 活火山の準リアルタイム観測を行い、結果を Web に即時公開してきた。現在のシステムは、MODIS と MTSAT の衛星データを用いている。MODIS データは NASA が受信し、アーカイブ化したものを利用しているため、リアルタイム性が低く、結果が Web 上に公開されるまでに観測から 4 ~ 5 日かかっている。この遅れのため、防災情報としての利用価値が低下してしまう等の問題がある。また、赤外チャンネルの分解能が 1km と低いと、小規模の熱異常が捉えられないこと、噴火の状況がほとんど判らない等の欠点もある。MTSAT については、地震研究所で直接受信しているため、リアルタイム性に問題ないものの、赤外チャンネルの分解能が 4km と、噴煙の観測以外での利用は難しいことが多い。これらは衛星データに起因する問題であり、解析技術ではカバーできない。

このシステムの新しいデータ供給源となり得る衛星として、2015 年度に JAXA から打ち上げが予定されている気候変動観測衛星 GCOM-C1 がある。これには SGLI と呼ばれる新しいセンサーが搭載されている。SGLI には 250m 分解能の赤外チャンネルが搭載されており、これまでの MODIS では難しかった噴火状況の解析が行えるようになる可能性がある。ただし、ランドサット TM の 30m に比べ、はるかに画素サイズは大きい。一方、データシステムに改良が加えられており、観測から一日以内には解析結果の公表ができる見込みとなっている。GCOM-C はシリーズとして 2 号機 (C2)、3 号機 (C3) が 5 年毎に打ち上げられ、15 年に渡って長期的な観測を行うことが計画されており、継続的な火山観測に都合が良い。一方で、250m 分解能のチャンネルは 1.6 μm と 11 (および 12) μm に限られ、従来 MODIS で 3.7 μm を主力として利用した観測方法とは、波長の点でも違いがある。SGLI を利用した観測では、250m 分解能の 1.6 μm と 11 μm のチャンネルをいかに使って、目的とするシステムの高度化を図るかがポイントとなる。

(1.6 μm と 11 μm チャンネルの特徴)

プランクの式を使って、1.6 μm と 11 μm の波長域の基本的特徴を調べた。横軸に温度 ()、縦軸に分光輝度 ($\text{W m}^{-2}\text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) 取った図で検討すると、1.6 μm は急激な変化を示し、500 以上できわめて高い分光輝度を示すものの、400 以下の温度域では、分光輝度はきわめて低い。このため、1.6 μm の画像では、赤熱した溶岩のようなきわめて温度の物体が画素内にあると、小規模であっても熱異常を示す可能性が高い。一方、数 10 レベルの低温域の変動は検知できない。これは、バックグラウンドとなる地面の季節変動などに左右されないという点ではメリットともなる。他方、11 μm はほぼ直線的な関係を示すため、数 10 レベルの低い温度域であっても、画素内の広い面積を占めていれば、その変動を十分検知できる。このため、11 μm の画像では、噴出後数日といったある程度時間が経過した溶岩流等でも、周囲より温度が高ければ、検知可能となる。このように、両チャンネルは対照的な特徴もつ。ただし、SGLI は、3.7 μm のように、数 10 ~ 数 100 で顕著な高輝度を示すチャンネルを欠いており、噴火に先行する熱異常といった小規模でやや低温の熱異常の検出には不向きであると考えられる。

(溶岩ドーム成長に伴う火砕流の発生と 1.6 μm と 11 μm チャンネルによる観測)

SGLI の特徴を利用した観測として、溶岩ドーム活動に伴う火砕流の発生の識別と監視を考えている。火山山頂部で溶岩ドームの成長が続いた場合、溶岩ドームの先端部が崩壊することにより、火砕流が発生し、山体斜面を流下、堆積する。火砕流の発生は、雲仙 1991-1995 年、スフリエールヒルズ 1991 年 ~、メラピ 2010 年等に見られるように、溶岩ドームの活動が続く限り断続的に発生する。このような活動において、ドーム頂部のマグマ湧き出し口付近は数 100 を超える表面温度をとるため、1.6 μm のチャンネルでその活動の消長を捉えられる可能性が高い。噴出率が高いほど、高温域のサイズや輝度値の最高値が増すと考えられる。一方、山体斜面に堆積した火砕流は、堆積直後は高温であるものの、急速に冷却し、表面温度は数時間後には 100 を下回るレベルにまで低下する。このよ

うな場合、 $1.6\ \mu\text{m}$ では輝度値が低く、検出限界以下になると考えられる。しかし、 $11\ \mu\text{m}$ のチャンネルでは、十分な輝度値があり、その堆積域を捉えることができる。従って、火砕流を伴う溶岩ドーム噴火の場合、中心に $1.6\ \mu\text{m}$ の小さな熱異常が見られ、その周囲に $11\ \mu\text{m}$ の比較的広い面積を占める熱異常が分布する熱構造となると考えられる。

一方、火砕流を伴わない活動では、周囲に噴出物は放出されないため、これに対応した $11\ \mu\text{m}$ の熱異常域は存在しないことになる。 $1.6\ \mu\text{m}$ 上で高い熱異常があっても、その領域は、 $11\ \mu\text{m}$ の熱異常域とほぼ一致すると考えられる。例えば、高温のガスを放出する噴気域がこのような事例に相当する。このため、火砕流を伴う活動と伴わない活動では、 $1.6\ \mu\text{m}$ と $11\ \mu\text{m}$ の比が系統的に異なると考えられ、この違いに基づいて両者を区別できる可能性がある。加えて、噴気域であれば、熱異常が火口のサイズを超えてまで拡大することはなく、これも識別の手掛りの一つとして利用できる。溶岩流の場合は、火口を超えて流下し、火砕流との見分けはつき難い。形状や繰返し等の手掛りを兼用して判断する必要がある。

(SGLI の模擬データを用いたテスト)

上記の考えを確かめるために、SGLIの $1.6\ \mu\text{m}$ と $11\ \mu\text{m}$ の模擬データを作成し、両タイプの熱異常を比較した。ここでは、ランドサット TM で観測した雲仙 1991-92 年の活動の画像を元データとして用いた。ランドサット TM には $1.6\ \mu\text{m}$ で30m画素サイズ、 $11\ \mu\text{m}$ で120m画素サイズのバンドがあり、これをリサイズすることにより、250m画素サイズのSGLIの模擬データを作成することができる。利用したデータは1991年10月15日、同10月22日、1992年6月22日の3期の夜間データである。雲仙の活動では、1991年秋以降、噴気活動と溶岩ドームの成長(および火砕流の発生)が離れた場所で起きるようになった。このため火砕流を伴うタイプ(溶岩ドーム周辺)、伴わないタイプ(噴気域周辺)の2つを同じ画像で得ることができる。ここでは、両地域を別に切り出した後、リサンプリング(平均値)により250mデータを作成した。熱異常域の定義は、 $1.6\ \mu\text{m}$ のチャンネルでは“バックグラウンド平均値+バックグラウンドの標準偏差 $\times 5$ ”を、 $11\ \mu\text{m}$ のチャンネルでは、“バックグラウンド平均値+バックグラウンドの標準偏差 $\times 2.5$ ”を超える画素とした。

(テストの結果)

火砕流を伴わない活動では、1991年10月15日は $1.6\ \mu\text{m}$:3画素、 $11\ \mu\text{m}$:2画素、1991年10月22日は、 $1.6\ \mu\text{m}$:3画素、 $11\ \mu\text{m}$:2画素、1992年6月11日は、 $1.6\ \mu\text{m}$:1画素、 $11\ \mu\text{m}$:0画素となった。どの画像でも、 $1.6\ \mu\text{m}$ と $11\ \mu\text{m}$ での大きさは、ほぼ同じで、かつサイズも小さい。一方、火砕流を伴う活動では、1991年10月15日は $1.6\ \mu\text{m}$:6画素、 $11\ \mu\text{m}$:30画素、1991年10月22日は、 $1.6\ \mu\text{m}$:12画素、 $11\ \mu\text{m}$:25画素、1992年6月11日は、 $1.6\ \mu\text{m}$:14画素、 $11\ \mu\text{m}$:34画素となった。従って、どの画像でも、サイズは $1.6\ \mu\text{m} < 11\ \mu\text{m}$ で、かつ $11\ \mu\text{m}$ 上での熱異常のサイズが大きい。

$1.6\ \mu\text{m}$ と $11\ \mu\text{m}$ の関係について見ると、火砕流を伴うタイプは、伴わないタイプに比べ、“ $11\ \mu\text{m}$ での熱異常のサイズ”/“ $1.6\ \mu\text{m}$ での熱異常のサイズ”の比が、系統的に高い(図)。これは、溶岩ドームの崩壊モデルから予想される結果と一致している。この比を利用することによって、250m分解能の画像でも火砕流の有無を識別することができる可能性がある。

このような識別がリアルタイムでできれば、溶岩ドームの活動が、火砕流を伴わない初期の段階から、火砕流を発生する段階への移行のタイミングを捉えることができる。初期の溶岩ドームは噴気域と似た“ $11\ \mu\text{m}$ での熱異常のサイズ”/“ $1.6\ \mu\text{m}$ での熱異常のサイズ”比をもつと考えられる。火砕流が頻発するようになると、 $11\ \mu\text{m}$ のサイズが急速に拡大し、この比が大きくなる。

(8)平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
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.

(9)平成 24 年度実施計画の概要：

平成 24 年度は、一つ目は、GCOM-C1 SGLI 画像を用いたシステムの高度化の検討を進める。平成 23 年度は、火砕流を伴う噴火、伴わない噴火について、雲仙の 3 例で検討を行ったのみであったが、これを別の火山の事例等を含め、幅広いデータを利用して、妥当性の検証を行う。

これまでに収集したデータを用いた噴火推移の研究は、平成 23 年度で計画したものの十分な検討を行うことができなかったため、二つ目として、引き続き、平成 24 年度もこの課題に取り組む。2009 年のサリチェフピークと 2011 年の新燃岳の噴火は規模は大きく異なるものの、MODIS による熱異常の時間変化は非常に似通ったパターンを示す。これは、どちらも、初めにプリニー式あるいは準プリニー式の激しい噴火が起き、次に溶岩流が流出し、その後、比較的長期に渡って断続的にブルカノ式噴火が続くという経過を辿ったことと関係がある可能性があり、一つの推移の類型と考えて良いのかもしれない。このような点をさらに別なデータを加え詳しく検討する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所・金子隆之

” 安田 敦

他機関との共同研究の有無 : 有

ロンドン大学キングスカレッジ, 東京大学生産技術研究所

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5666

e-mail :

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 金子隆之

所属 : 東京大学地震研究所

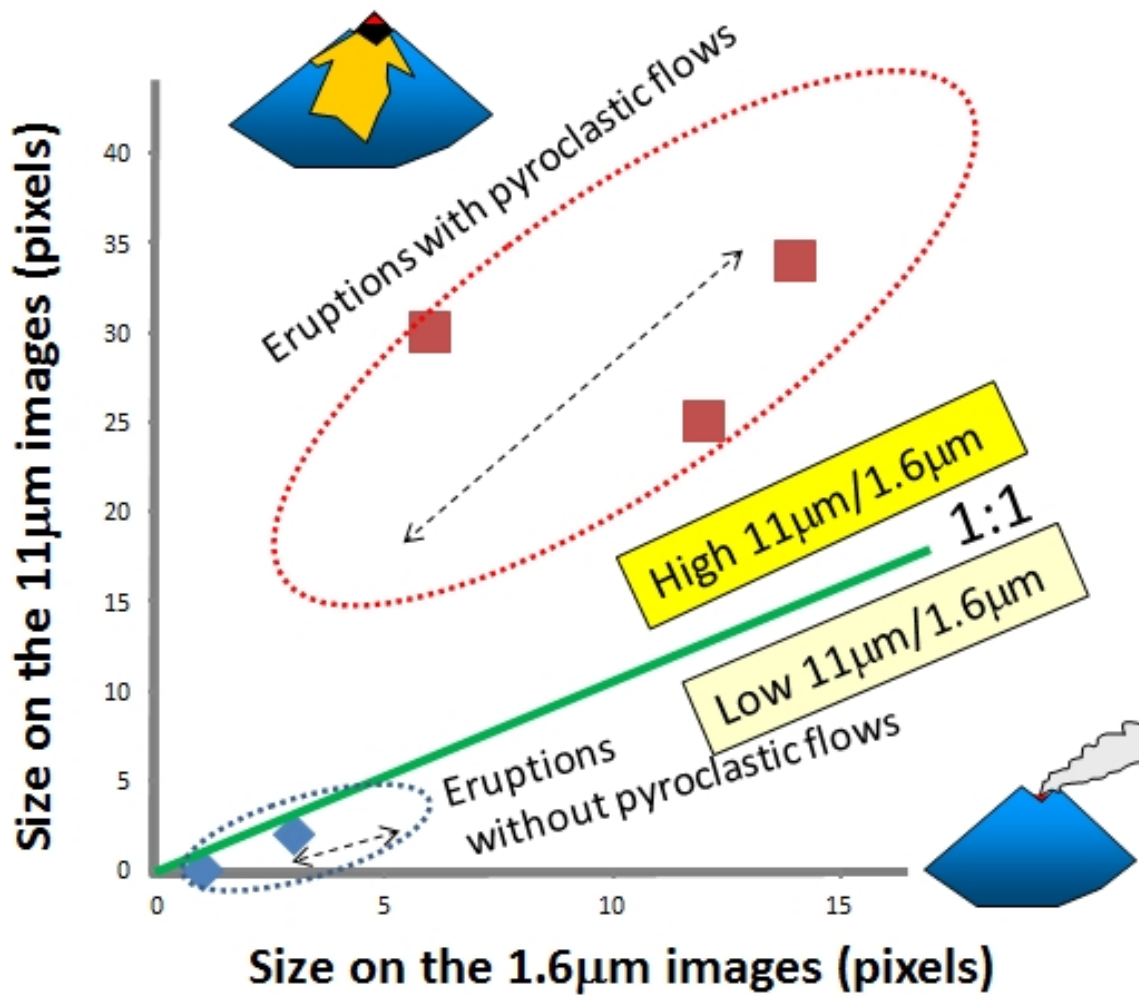


図 1.6 μ m の画像と 11 μ m の画像におけるサイズ