

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18201034

研究課題名（和文）衛星データによる東アジア活火山観測・防災ネットワークの構築

研究課題名（英文）Development of satellite-based monitoring system and disaster mitigation network of active volcanoes in east Asia

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

研究成果の概要（和文）：東アジアにおける噴火監視と噴火研究の基礎となる活動データの大規模収集を行うために、MODIS と MTSAT データを利用した「複数の衛星を利用した準リアルタイム東アジア火山観測システム」の構築を行い、主要 147 活火山の常時監視を行った。これらのデータの解析結果に関して、ウェブサイトを通じて広く公開すると共に、より詳しい噴火状況を知るため、高分解能衛星データや地上観測データを組合せて、統合的解析を試みた。

研究成果の概要（英文）：We developed a monitoring system based on Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) data, and are currently monitoring 147 active volcanoes in this area. The observation results are uploaded on the website in real or near-real time, after acquisition of observation data. Based on these data, we analyzed details of eruption processes occurred at some volcanoes in conjunction with high resolutions images or ground-based observations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	15,100,000	4,530,000	19,630,000
平成 19 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
平成 20 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
平成 21 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	27,400,000	8,220,000	35,620,000

研究分野：火山リモートセンシング

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山・防災・ウェブ・噴火・リモートセンシング・東アジア

1. 研究開始当初の背景

北はカムチャッカ半島から南はインドネシアに至る東アジア地域には、多数の活火山が分布する。そのいくつかは毎年噴火し、場合によっては大きな災害を引き起こす。一方、この地域の地震・火山観測システムは一部を除き皆無に近い状態にある。噴火監視に加え、防災の基礎となる学術データ収集という点からも、恒久的観測システムの構築が必要とされる。しかしながら、通常行われる地上観

測では、コスト、機器の設置・管理の問題があり、この広大な地域をカバーすることは事実上不可能と考えられる。このような問題に対し、衛星を利用した方法であれば、ある程度の範囲で答えることができる可能性がある。

我々は、このような視点から、これまで衛星リモートセンシングによる観測システムの開発に取り組み、試験運用を行ってきた。この中で、いくつかの火山で火山活動に関係

する熱異常が観測され、その有効性を確認することができた。しかし一方で、利用している衛星 (NOAA AVHRR) に起因する幾何補正の精度不足などシステムの弱点もわかってきた。また、防災システムとして利用するために完備すべき点、熱のみの解析による方法の限界が明らかになってきた。

2. 研究の目的

本研究は、東アジアの火山研究と防災を推進するために、衛星データを利用し、主要活火山を準リアルタイムで観測するシステムを構築し、その運用と高度化を図ることを目的とする。これまでの、プロトタイプの実行結果とその検証を踏まえ、次のステージである本格運用に向け、以下の3つを柱とした開発と研究を行う。

(1) 安定的かつ複数の観測項目をもつ準リアルタイム火山観測システムの構築

安定して稼動する観測システムの構築は、火山の監視・観測においては不可欠の条件である。この際、噴火を多面的から捉えるために、熱に留まらず、噴煙の発生状況等、観測情報の多項目化を図る。また、防災利用を進めるために、観測の高頻度化・リアルタイム性の向上を図る。

(2) 東アジア火山防災システムの構築と運用

東アジアを含め多くの火山関係者に活動情報をできるだけ早く届けるため、観測の処理結果を、ウェブサイトに即時自動掲載するシステムを構築する。また、このサイトに、簡易シミュレーションツールを組み込み、噴火状況に応じて、利用者がリアルタイムで、火砕流のシミュレーションができるようにする。

(3) 収集データの統合的解析による噴火推移・プロセスの解明

噴火推移・プロセスの解明は学術のみならず防災上も重要な要件となる。このために、主に国内の火山噴火を対象に、衛星と地上との統合的観測を行う。また、主に国外の火山噴火について、熱的と噴火イベントの発生状況の組合せ観測など、異なる衛星データの組合せによる観測・解析手法の研究と開発を進める。

3. 研究の方法

(1) 構築するシステム

本研究では、リアルタイム性向上、幾何補正精度向上、多項目観測の実現のため、従来の NOAA AVHRR に代えて、MODIS と MTSAT の異なる2つの衛星を利用する。MTSAT については直接受信を行い、リアルタイム性の向上に努める。

データ処理については、複数の PC に Linux OS を組み込んだものを採用し、低コストかつ

高い拡張性もつサービシステムを構築する。このシステムには、受信システム、データ処理システムに加え、ウェブシステムやアーカイブシステムを付加し、必要に応じて過去のデータも取り出せるようにする。

(2) 観測領域と対象火山

観測対象とする領域は、カムチャッカ半島、千島諸島、日本列島、伊豆マリアナ、フィリピン、スマトラ島、ジャワ島、インドネシア東部、パプアニューギニアである。これらの地域の中から別に選定した主要147活火を対象に、観測を行う (図1)。

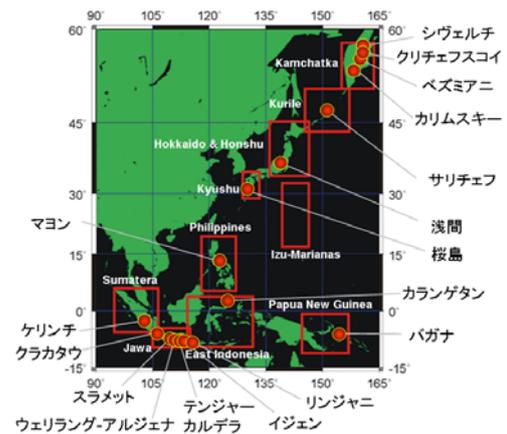


図1 観測対象範囲と2009年に本システムにより噴火が検出された火山

(3) 統合的観測

本研究では、規模の大きい噴火が発生した場合は、MODIS、MTSAT に、他の観測データを加え、統合観測を行い、より詳しい噴火状況の解析を行う。この際、地上観測データを入力できる国内噴火では、それらのデータを積極的に用い、それが難しい国外噴火では、高分解能衛星のデータを組み合わせた解析を行う (図2)。

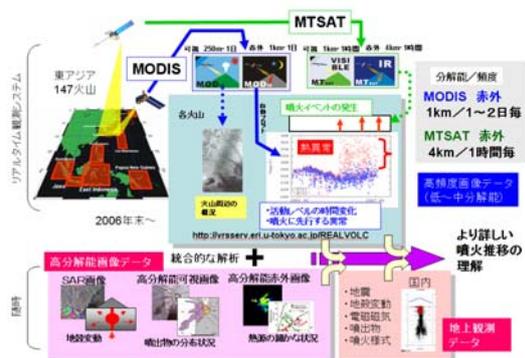


図2 統合的観測の模式図

4. 研究成果

開発したシステムと得られた成果について順次記述する。

(1) 安定的かつ複数の観測項目をもつ準リアルタイム火山観測システムの構築

本研究ではMODIS, MTSAT を利用したシステムを構築し、火山の安定的な多項目準リアルタイム観測を実現した。この概要を以下に示す。

①データ処理

本システムは、MODIS の自動ダウンロードシステム, MODIS の処理・解析システム, MTSAT の受信システム, MTSAT の処理・解析システム, ウェブシステム, アーカイブシステムから構成される (図3)。

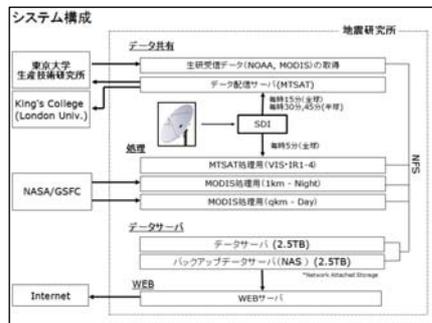


図3 データ処理システムの概要

MODIS データはNASAのFTPサイトから位置情報を頼りに該当火山を含むTERRA及びAQUA衛星のMODISオリジナル画像(QKMと1KM)を選び出し、それらをすべて研究内のサーバーに一時保存する。これらの画像について、フランスLille大学のMsphinxを基にNASA・Maryland大学が共同でMODIS画像処理用に開発したHDFLOOKを用いて、輝度補正(デジタル値から輝度値への変換)および幾何補正を行う。幾何補正は、衛星観測データに記録された位置情報を用いて行う。幾何補正後の出力画像座標は、緯経度座標であり、画素サイズは緯度および経度方向共に32.37秒(中緯度付近で約1km)となっている。この後、プランクの式を用いて輝度値から輝度温度に変換し、各火山毎に周辺領域の切り出しを行う。切り出しを行う領域は、各火山毎に、対象火山を中心として、赤外では100画素×100画素、可視では100画素×100画素としている。この後、データはウェブシステムへ渡すと共に、保存用データとしてアーカイブシステムに格納される。

MTSATデータのリアルタイム処理を行うために、地震研究所内に3.7mのパラボラアンテナと受信装置(SSEC Desktop Ingestor (SDI-104))を設置しHRITでの直接受信を行っている(図2.4)。受信されたHRITデータは受信装置内のサーバーに一旦蓄えられた後、1時間毎に受信処理の空き時間に補正処理用のサーバーに転送される。補正処理用のサーバーではWisconsin大学の衛星データ高次処理ソフトウェアMcIDAS-Xを使い、HRITデータの幾何および輝度補正処理を行っている。“REALVOLC HP”へは、可視では火山毎

に、赤外ではエリア毎に処理済み画像から切り出しを行い、観測完了から2~3時間以内に最新の画像を表示することができる。現在、サーバーの処理能力・所内のデータ転送の関係から、全球データのみを処理しているため、観測頻度は1時間に1回となっている。MTSAT画像の切り出しは、可視が200画素×200画素(中緯度域で約200km×200km)、赤外は分解能が低いため、各エリア毎に切り出しを行っている。MODIS同様、切り出された画像は、ウェブシステムとアーカイブシステムに渡される。

②ウェブシステム

本システムのHPは以下のサブページから構成されている。

- ・MODIS 赤外：MODISの夜間赤外画像により各火山の熱異常を観測する。この時系列変化をチャートで自動表示する(図4)。
 - ・MODIS 可視：MODIS可視画像の高い分解能により、小噴煙や地形変化を観測する。
 - ・MTSAT 赤外：MTSAT赤外画像の高い時間分解能を利用して、噴火イベントを検出する。
 - ・MTSAT 可視：同様に噴火イベントの検出に利用する。
 - ・東アジア活火山データベース
 - ・火砕流シミュレーションツール
- 本HPのフロントページを図4に示す。

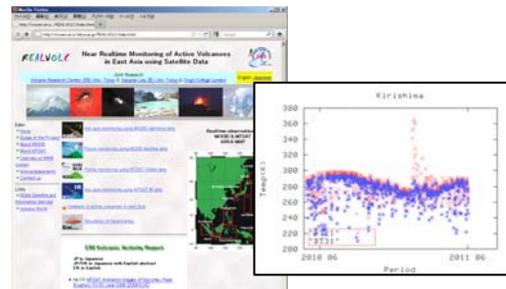


図4 本システム“REALVOLC”HPのフロントページ(左)とMODISのサブページに搭載された熱異常の時系列変化を示すチャート(右)

(2) 東アジア火山防災システムの構築と運用

①開発したシステムの試験運用

開発したシステムを試験運用し、東アジアの火山観測を行った。同時に、観測結果をHP(URL: <http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALVOLC/index.html>)を通じて広く公開し、現地からも噴火情報に直接アクセスできるようにした。図1に2009年度に本システムにより、噴火が検出された火山の例を示す。

②火山活動情報

衛星データの表示だけでは、一般の火山関係者に十分な情報が伝わらない恐れがあり、非専門家にも理解できる形で情報発信を行うことは防災上きわめて重要である。このた

め、東アジアの域内で噴火が発生した場合は、このHPに「ERI Volcanic Activity Report」として、簡単な解析結果を同HPに掲載した。これまでに、第13号までを発行した。

③リアルタイムシミュレーションシステム

観測対象としている東アジア147火山について、HP上でエネルギーコーンによる火砕流シミュレーションが行えるようにした。図5に、2011年1月に霧島新萌岳に際して本システムにより作成した火砕流の到達範囲の予測図を示す。この結果については火山噴火予知連絡会にも報告を行った。

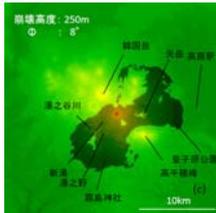


図5 新萌岳における火砕流シミュレーションの例

(3) 収集データの統合的解析による噴火推移・プロセスの解明

本研究で行った複数衛星を利用した噴火推移プロセス解析，地上観測データとの統合的解析の事例を以下に示す。

① 浅間 2009 年噴火

2009年2月2日未明に浅間山が噴火した。この噴火イベントに対応して、MTSAT 赤外面像データを使って、発生した噴煙の移動・拡大状況を詳しく解析した。解析には、噴火直後の2月2日午前2時30分(JST)から、1時間毎に5時30分までの4画像を用いた。噴煙の同定には、熱赤外チャンネルの差分画像を利用した(図6)。

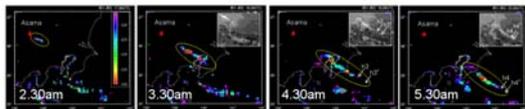


図6 浅間火山 2009年噴火で発生した噴煙

この結果、噴煙は浅間山からほぼ南東方向にあたる浅間山-東京-勝浦を結ぶ直線上を移動したことが判った。また、時間と共に噴煙の先端と終端の距離が拡大し、噴煙が移動方向に伸長したことも明らかになった。移動速度は、先端が約135 km/h、終端が約51 km/hと見積もられ、両者間で2倍以上の違いがあった。当時の気象データによると、標高4900-5700 m付近は119 km/h 南東向きの風、2700-3100 m付近は61 km/h 南東向きの風で、それぞれ噴煙先端部、終端部の移動速度とほぼ一致する。噴煙の伸長はこの相対速度の違いにより生じていると考えられる。噴煙による降灰域は、噴煙の移動域に比べ、幅広くかつ南に偏り、東京付近では降灰主軸は噴煙から20~30 km 程度南に位置している。

標高1600m~地表では、風速が上空と比べ30%程度低下すると共に、風向きが南南東~南方向に変わる。噴煙から降下した火山灰が、この高さ領域に入ったとき、南方へ流されるため、降灰域全体が南側にシフトしたと解釈される。

② 霧島 2011 年噴火

2011年1月19日に、新燃岳で突然噴火が始まり、同月26日~27日にかけて準プリニー式の激しい噴火が発生した。27日には火口内に溶岩ドームが出現、急速拡大し、2月初頭には直径600mに達した。これ以降、溶岩ドームの一部を吹き飛ばすようなブルカノ式噴火が続いている。

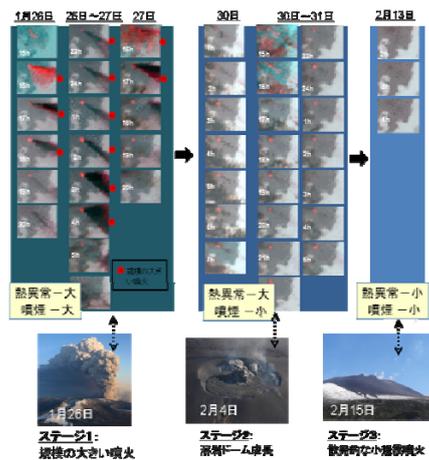


図7 MTSATで観測した霧島2011年噴火

MTSAT 赤外面像により観測される「熱異常」と「噴煙」の発生状況に基づいて、活動の推移を3つのステージに分けることができる(図7)。

ステージ1 (高いレベルの熱異常と規模の大きい噴煙発生): 1月26日~27日にかけての期間は、新燃岳山頂部に高レベルの熱異常が継続的に見られる。これらの熱異常は、準プリニー式噴火に伴って、火口周辺に厚く堆積した放出物によると推定される。地表での観察では、26日~27日未明の間に生じた降下堆積物は上下2つにユニットに分けることができる。MTSAT 画像との比較により、これらはそれぞれ26日16時~18時、26日23時~27日4時の2回の噴火イベントに対応すると考えられる。

ステージ2 (高いレベルの熱異常と規模の小さい噴煙発生): 1月30日頃から2月2日頃にかけて、山頂部に比較的大きな熱異常が継続的に認められる。本期間は、ステージ1のような規模の大きい噴煙の発生は認められないため、熱異常はこの溶岩ドームの成長に伴って発生していたものと推定される。

ステージ3 (低いレベルの熱異常と規模の小さい噴煙発生): 2月3日以降から現在(2月18日)に至る期間は、熱異常、噴煙発生とも

低調になっている。継続的な熱異常が認められないのは、溶岩ドームの成長が停止し、表面に高温部が定常的に存在しなくなったためと推定される。

MODIS 赤外面像による観測では、霧島は、噴火前1年以上に渡って熱異常を示しておらず、噴火に先行して熱異常が現れることなく、1月下旬に突如噴火が始まった。浅間 2004 年の噴火では、噴火前2週間頃から熱異常が現れ、徐々にレベルが上がり噴火に至った。このような違いは、新燃岳では、18世紀以降大きな噴火がなく、火道が閉塞した状態にあったためかもしれない。

MODIS の熱異常の時間変化は、噴火様式が異なれば、それぞれ異なる特徴的パターンを示すように見える。霧島のパターンは、スパイク型を示すブルカノ式に近い形態を示す。霧島が、これと似た推移パターンをとるとすると、再活発化の可能性も十分考えられる。

③ サリチェフ 2008 年噴火

サリチェフ火山は、千島諸島中部マツワ島に位置する標高 1497m の活火山である。本年 6 月 11 日、1989 年以来 20 年ぶりに噴火が始まった。

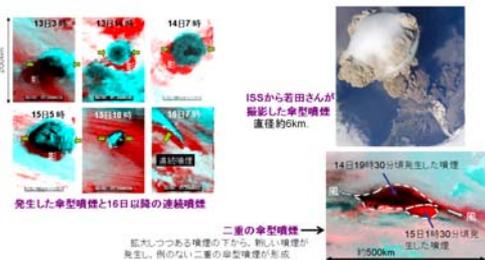


図 8 MTSAT で観測したサリチェフ火山 2008 年噴火に伴って発生した噴煙

MTSAT 等の画像解析から、6 月 11 日 (JST) に最初の噴火が起き、12 日から 15 日かけて、傘型領域をもつ巨大な噴煙が、日に 2 回程度のペースで発生したことがわかった (図 8)。この後、16 日 2 時 30 頃発生した噴火を最後に、噴煙が細長く連続的に放出されるようになり、20 日頃にはほぼ活動は終息した。MODIS の夜間赤外面像の解析から、本火山では熱異常のない静穏な状態が長く続いていたが、本年 6 月 11 日から噴火と共に突然高い熱異常を示すようになった (図 9)。ここでも 2004 年の浅間火山の噴火で見られたような噴火に先行する熱異常は、観測されなかった。熱異常は活動の終了と同期して徐々に低下し、数週間でバックグラウンドに近いレベルとなった。今回の活動は、短期間にきわめて高い熱異常を示すという特徴的な噴火であった。

ALSO-PROSM, ASTER 等の高分解能画像を用いて、2009 年噴出物の分布状況を解析した (図 9)。今回の噴火により、島の北東側は火

砕流堆積物に、完全に埋め尽くされた。堆積物が泥流となり、谷に沿って海岸まで流れ下り、多数の扇状地をつくっているのが確認された。活動の最後に主火口脇から 2 本の溶岩流が北東および北西側に流下した。

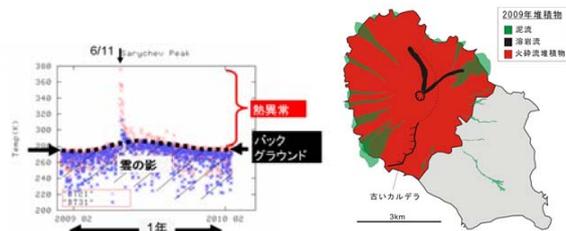


図 9 MODIS によるサリチェフ火山 2008 年噴火に伴う熱異常 (左) と高分解能衛星画像から判読した堆積物の分布状況 (右)

以上、様々な衛星データから読み取った活動状況のまとめを図 10 に示す。

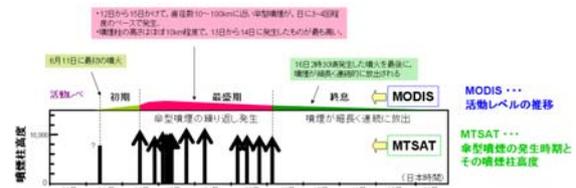


図 10 各種衛星データを総合して読み取った噴火推移

(4) 今後の展望

本研究により、東アジアの活火山を常時準リアルタイム観測することが可能となった。このような火山観測システムを継続的に運用している機関は世界的にも少なく、現在短波長赤外バンドを含むシステムとしては、東アジアで唯一のものとなっている。今後も本システムを増強し、監視と観測を継続する予定である。

本研究の観測期間中には、規模の大きい噴火事例が少なく、熱異常パターンの類型化に関するデータを十分得ることが出来なかった (図 11)。今後もデータ収集を継続し、噴火推移の類型化に関する研究を進める。

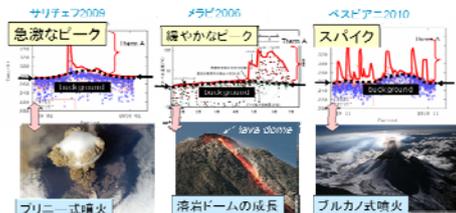


図 11 熱異常パターンと活動様式

2014 年度に我が国から、次世代中分解能型衛星 GCOM-C1 が打ち上げられることになっている。GCOM-C1 には 250m という高分解能赤外センサーが搭載されており、火山の熱源のタイプを識別するなど、新しい観測が実現でき

る可能性がある。次の課題の1つとして、JAXA と協力し、この衛星データのシステムへの組み込みを図る。

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7件)

- ① Kaneko, T., Koyama, T., Yasuda, A., Takeo, M., Yanagisawa, T., Kajiwara, K. and Honda, Y. (2010): 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, 1491-1504. 査読有
- ② Kaneko, T., Yasuda, A., Fujii, T. and Yoshimoto, M. (2010) : Crypto-magma chambers beneath Mt. Fuji, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 193, 161-170. 査読有
- ③ 金子隆之・田 寛之・高崎健二・安田 敦・前野 深・小山悦郎・中田節也(2010): MTSAT で捉えた浅間山 2009 年 2 月 2 日噴火に伴う噴煙, 55, 119-128. 査読有
- ④ 前野 深・鈴木由希・中田節也・小山悦郎・金子隆之・藤井敏嗣・宮村淳一・鬼澤真也・長井雅史(2010): 浅間山 2009 年 2 月 2 日噴火の経緯と噴出物, 火山, 55, 147-154. 査読有
- ⑤ 金子隆之・青木陽介・安田敦・高崎健二(2009): ALOS 画像による活火山地形・地質判読とその噴火解析への応用, 火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究成果報告, 気所庁, 68-76. 査読無
- ⑥ 金子隆之・吉本充宏・中川光弘(2009): ALOS 画像による千島諸島南部に分布する火山の研究, 火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究成果報告, 気所庁, 46-57. 査読無
- ⑦ 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. 査読有

[学会発表] (計9件)

- ① Kaneko, T., Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT data and its advancement by GCOM-C1 SGLI, Joint PI Workshop of Global Environment Observation Mission, 7 Dec 2010, TKP Otemachi Conference Centre, Japan
- ② Kaneko, T., Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using MODIS and MTSAT data and its advancement by

GCOM-C1 SGLI, ISPRS Commission VIII, 11 Aug 2010, Kyoto International Conference Centre, Japan

- ③ Kaneko, T., Volcano Observation Using an Unmanned Autonomous Helicopter (1): an Experiment of Seismometer Installation and Low-Altitude Remote Sensing at Sakurajima, Cities on Volcanoes 6th, 31 May 2010, Tenerife, Spain
- ④ 金子隆之, 衛星画像による東アジア活火山のリアルタイムモニタリングと最近の噴火例, 地球惑星連合大会, 2010 年 5 月 24 日, 幕張メッセ
- ⑤ Kaneko, T., Realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using remote sensing data: advance by SGLI, Joint PI Workshop of Global Environment Observation Mission, GCOM PI Workshop, 13 Jan 2009, Tokyo International Exchange Center, Japan
- ⑥ 金子隆之, MTSAT, MODIS で捉えたサリチェフ火山 2009 年噴火, 日本火山学会, 2009 年 10 月 10 日, 奈川県立生命の星・地球博物館
- ⑦ Kaneko, T., Realtime Monitoring of Active Volcanoes in East Using satellite Visible and Infrared Images, Cities on Volcanoes, 27 Nov 2007, Shimabara, Japan.
- ⑧ Kaneko, T., Near realtime monitoring of active volcanoes in east Asia using satellite data, IUGG, 9 Jul 2007, Perugia, Italy.
- ⑨ Kaneko, T., Satellite monitoring of active volcanoes in east Asia: a MODIS and MTSAT-based system, APRU/AEARU, 22 Jun 2007, Jakarta, Indonesia

[その他]

ホームページ等

<http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALVOLC/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
青木 陽介 (AOKI YOSUKE)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 90376624