

平成 21年 5月 21日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007-2008

課題番号：19509002

研究課題名（和文） 衛星計測データによる火山噴出物表層部の実態把握

研究課題名（英文） Analysis for eruptive product using satellite data

研究代表者

氏名（ローマ字）：原田 一平（HARADA IPPEI）

所属機関・部局・職：千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・協力研究員

研究者番号：80451748

研究成果の概要：低層大気中の長光路を利用して火山ガス（SO₂）を長期連続測定可能な長光路差分吸収分光（Differential Optical Absorption Spectroscopy; DOAS）法により測定を行い、三宅村役場による火山ガスの地上観測点測定データと比較した結果、DOAS法と地上測定によるSO₂濃度は類似した時系列変動が観測され、高濃度の火山ガスが広域に分布していることを把握した。衛星計測データによる植生の生態状況と火山ガスの関係を調査した結果、高濃度火山ガスの発生時間が長い地域（阿古、坪田高濃度地区）の植生の生態状況は悪く、高濃度火山ガスの発生時間が短い地域の植生の生態状況は回復傾向にあることが明らかになった。また、地下水水質データとリモートセンシング技術によって得られたデータを比較した結果、悪化した地下水水質の回復が遅いことを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	360,000	3,360,000

研究分野：地理情報学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：自然現象観測・予測、計測工学、火山噴出物、火山ガス、地下水水質、リモートセンシング、DOAS、三宅島

1. 研究開始当初の背景

火山災害の程度を科学的に論じるためには、噴火前に十分な調査が行われていなくてはならない。リモートセンシングによって得られる衛星画像は、過去から現在までさかのぼって解析が可能であり、このような問題に大いに貢献しうる。本研究では三宅島2000年噴火前後を対象に解析を行うが、この島では、町

田（研究分担者）によって長年の地下水水質モニタリングがおこなわれている。そのため、2000年三宅島噴火後に生じた地表面象と地下現象を関連付けて論じることが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では衛星計測データを用い、三宅島の噴火後の地表に堆積した火山噴

出物および火山噴出物表層部における植生性状、大気汚染物質濃度のモニタリングを行い、火山噴出物量の厚さを見積もることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 火山噴出物表層部の実態調査

植生の生育状態は、その生育場所の過去から現在に至る気象、土壌、大気汚染などの環境状況を総合的に受け入れた結果を示しているため、衛星計測データを利用して大気汚染による植生の被害状態を分光反射特性から評価できる。植生の生育状態を指標とし、衛星計測データ (ASTER) および現地調査データをもとに噴火活動に伴い酸性化した噴出物表層部の実態を把握する。

(2) 大気汚染物質濃度観測

都市域の対流圏における代表的な大気汚染物質である二酸化窒素 (NO_2)、および浮遊粒子状物質 (エアロゾル) の光学的リモートセンシングによる長距離測定手法として、比較的簡便な装置で実大気中の汚染物質を数 km 隔たった 2 地点間において平均濃度を測定できる長光路差分吸収分光 (Differential Optical Absorption Spectroscopy; DOAS) 法が有用である。DOAS 法のデータ取得は 5 分程度であり、高い時間分解能で広い領域の平均濃度の測定が可能である。また、光源、受光部ともに可搬であることを活かし、紫外望遠鏡を用いることにより、火山ガス成分のひとつである SO_2 濃度の 24 時間の長期連続観測が可能となる。DOAS 法を応用したサーチライト型光源を用いる能動的多軸 DOAS 法 (Active Multi-Axis DOAS: 能動的多軸 DOAS 法) の概要を図 1 に示す。地上測定による火山ガスおよびキセノンフラッシュランプによる可搬型光源と紫外望遠鏡を利用した DOAS 法による火山ガスの測定を行い、衛星計測データから火山ガスの地上測定点周辺における植生指標 (NDVI) を算出して、植生の生態状況と火山ガス (SO_2) との関連を調査する。

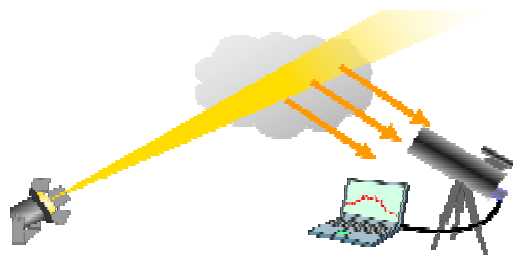


図 1 AMAX-DOAS 法 (Active Multi-Axis DOAS: 能動的多軸 DOAS 法) の概要

(3) 地下水の水質悪化の程度に関する予測

三宅島 2000 年噴火前から今までに町田 (研究分担者) は、地下水水質についてモニタリングを、15 年間 20 以上の地点で続けており、泥流の堆積した地域においては特に地下水水質の悪化が激しいことを明らかにしている (Machida and Lee, 2008)。この調査によって、蓄積した地下水水質データとリモートセンシング技術によって得られたデータを比較し、地下水水質悪化と地表情報との関連を明らかにする。特に、地表に堆積している泥流の位置、量、火山ガス濃度分布、植生の生育状態との関連について解析する。

4. 研究成果

(1) 火山噴出物表層部の実態調査

2000 年の三宅島噴火によって全島民が島外へ避難したが、2005 年 2 月 1 日に避難指示が解除された。本研究では、避難解除前の 2003 年 4 月 7 日、避難解除後の 2007 年 5 月 16 日の ASTER (VNIR) から火山ガスの地上測定点 (8 地点) 周辺における植生指標 (Normalized Difference of Vegetation Index; NDVI) を算出して、植生の生態状況と火山ガス (SO_2) との関連を調査した。

植生域と非植生域の閾値としては一般に用いられている NDVI の値である 0.1 を用い (例えば、近藤、2004、原田・近藤、2005)、NDVI が 0.1 より大きい値を示す領域を植生域とした。NDVI > 0.1 の緑地を 1、0.1 > NDVI の非緑地を 0 と 2 値化した植生画像 (2003 年 4 月 7 日、2007 年 5 月 16 日) を作成した。

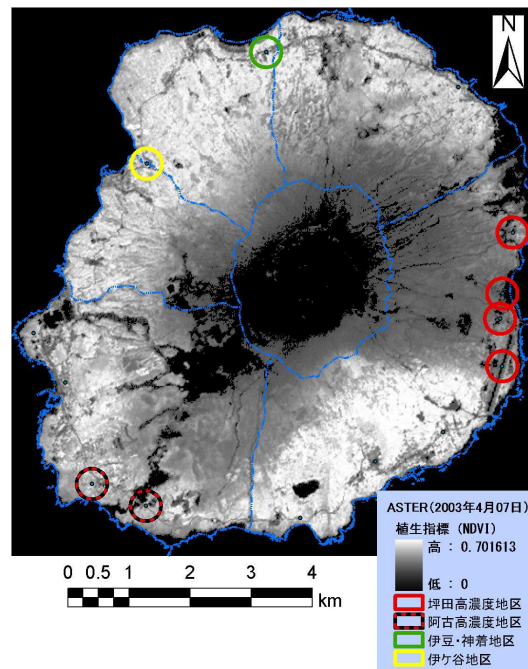


図 2 ASTER (2003 年 4 月 7 日) による植生画像

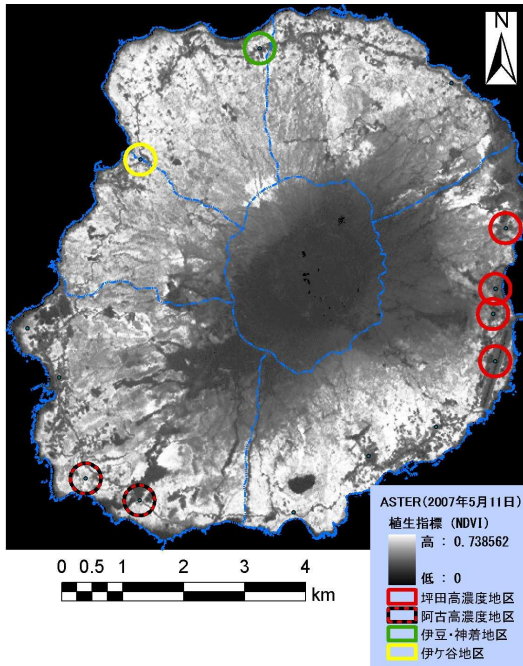


図3 ASTER (2007年5月11日) による植生画像

また、三宅村役場による火山ガスの地上測定点を中心とした半径250mの同心円を作成し、2値化した植生画像に重ね合わせた植生画像(2003年4月7日、2007年5月16日)を図2,3に示す。

地上測定点(8地点)から半径250m圏内における植生指標(NDVI)と三宅村役場による火山ガス(SO₂)の年平均値との関係を調査した結果、高濃度火山ガスの発生時間が長い地域(阿古、坪田高濃度地区)のNDVIは小さく、高濃度火山ガスの発生時間が短い地域(伊豆・神着、伊ヶ谷地区)のNDVIは大きいことが明らかになった(図4)。

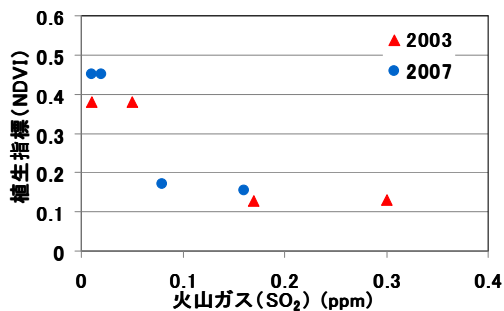


図4 火山ガス(SO₂)と植生指標(NDVI)の関係

(2) 大気汚染物質濃度観測

地上測定による火山ガスおよびキセノンフラッシュランプによる可搬型光源と紫外

望遠鏡を利用したDOAS法による火山ガスの測定を行った(図5)。解析対象地域は、三宅島東部の坪田高濃度地区で2008年12月8日から12月11日の期間に火山ガスの長期24時間連続観測を行った。地上から10-50mの低層大気中で水平に近い長光路(約460m)における大気微量成分のSO₂、NO₂を測定した結果、SO₂吸収のスペクトルマッチングは、非常に強い相関関係が得られたのに対して、NO₂吸収のスペクトルマッチングは強い相関関係が得られなかった。火山ガスは12月11日2:30amから7:20amの時間帯に坪田高濃度地区で発生し、40ppbから1600ppbと高濃度なSO₂が観測された。三宅村役場による火山ガスの地上測定データと比較した結果、DOAS法と地上測定によるSO₂濃度は類似した時系列変動が観測され、高濃度の火山ガスが広域に分布していることを把握した(図6)。



図5 DOAS光源装置とMAX-DOAS受光装置(左)、DOAS受光装置(右)

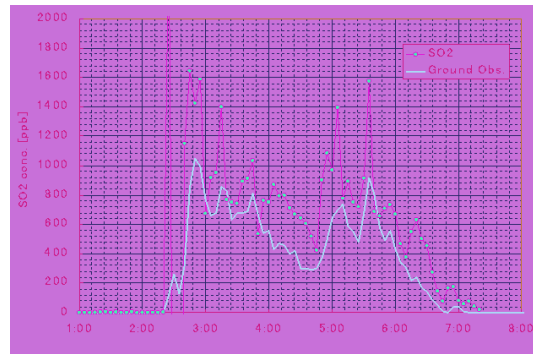


図6 三宅島DOAS観測のSO₂濃度の時系列変化(坪田高濃度地区:2008年12月11日)

(3) 地下水の水質悪化の程度に関する予測

三宅島2000年噴火では、大規模な山頂部の陥没、広域に及ぶ群発地震、世界的にも例を見ないほどの大量かつ長期間にわたる火山ガスの放出がおこった。この噴火によって大量の火山噴出物が噴火口を中心に降り注いだ(図7)、このときの降灰そして後に生じた火山泥流によって、建造物の破壊、道路の分断など様々な被害が生じた。一方、これら火山噴出物によって地下水水質にも深刻な影響が認められた。

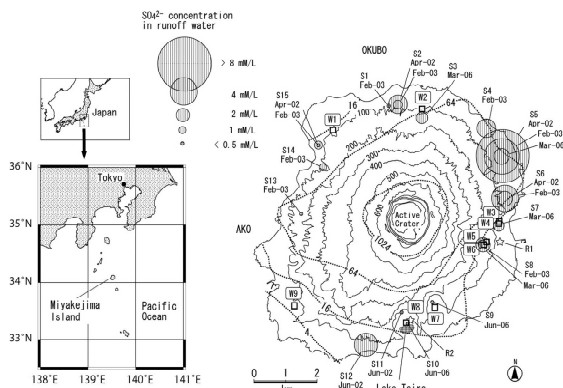


図7 三宅島の位置および地形. 地形等高線の単位は m である. 星印 (R1, R2), 網掛け円 (S1-S15), 白抜きの四角 (W1-W9) は, 降水, 地表水, 井戸水の採水地点である. 網掛け円の大きさは地表水の SO_4^{2-} 濃度に対応しており, 採水地点の脇に記した日付は採水日時である. 点線は 2000 年噴火による火山噴出物の堆積深度に関する等値線 (mm) である (東京都, 2001).

2000 年噴火後に生じた地下水の水質変化を簡潔にまとめたものが図7である. 図7の左縦軸は濃度 (mmol/L), 右縦軸は pH である.

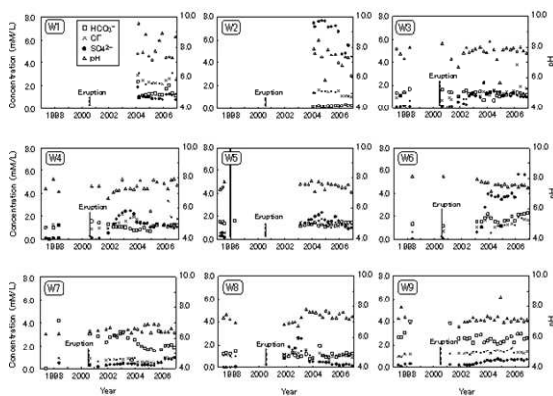


図8 各井戸における地下水の HCO_3^- (四角), Cl^- (塩化物イオン), SO_4^{2-} (黒丸), pH (Δ) の時間変化. 噴火は 2000 年 6 月である. 左軸はアニオン濃度, 右軸は pH を示す. 地点番号は図7の通りである.

図8では陰イオン濃度の変化を示しているが, この図より明らかな通り, W1を除き全ての地点で 2000 年噴火後に地下水の溶存成分濃度, とりわけ SO_4^{2-} 濃度の上昇が認められる. 特に良質の地下水を産出した W5, W6 の水質が大きく悪化してしまったことは, 井戸水に生活用水を頼る島民にとって大きな痛手であ

った。

図8にて示した地下水水質変化の原因は火山噴出物からの溶出成分が原因であることは明らかであり, そのメカニズムは以下の通りまとめられる. まず, 降雨が地表に到達し, 地表に堆積している火山噴出物と接触する. 火山噴出物表面および内部には, 溶解性のジブサム (石膏: CaSO_4) 等が大量に含まれているため, 涵養する水には高濃度の硫酸イオン (SO_4^{2-}) が含まれるようになる. 涵養水は地下水の源であるため, 結果として地下水も硫酸イオン濃度が上昇する. 湧水の水質モニタリング結果 (Sato *et al.*, 2006) と図7を比較すると, 火山噴出物からの溶出水が, まずは湧水の SO_4^{2-} を変化させ, その後井戸水の水質を変化させる様子をはっきりと認められる。

井戸水の SO_4^{2-} 濃度の上昇量は, 流域に到達した火山泥流の量と関連があると見られる. 泥流到達地域近傍の井戸 (W2, W3, W4, W5, W6) では, 井戸水の硫酸イオン濃度は極端に増加しており, 泥流が到達しなかった地域 (W1, W7, W8, W9) の井戸では噴火前と大きな差は見られないが, 水質の回復が早い. 泥流が地下水水質に与えたダメージは, W5 と W6 の水質変化を比較すると良く分かる. 両者はわずか 200m 程度しか離れていないが, W6 は何度も泥流で覆われ, W5 には噴火初期に一度到達したのみである. そのため, W6 の溶存成分は今をもって高く, W5 の濃度上昇は小さい上に回復基調にある。

(4) まとめ

DOAS 法と地上観測点測定データによる火山ガス (SO_2) 濃度は類似した時系列変動が観測され, 高濃度の火山ガスが広域に分布していることを把握した. また, 衛星計測データによる植生の生態状況と火山ガスの関係を調査した結果, 高濃度火山ガスの発生時間が長い地域 (阿古, 坪田高濃度地区) の植生の生態状況は悪く, 高濃度火山ガスの発生時間が短い地域の植生の生態状況は回復傾向にあることが明らかになった。

火山ガスが発生する地域は一般に風向きにより大きく異なるため, より光路の長い DOAS 計測を複数組み合わせることによって火山ガスの分布を二次元的に把握できる可能性がある. DOAS 法による長光路の火山ガスをモニタリングすることにより, 坪田高濃度地区の近くで運用されている空港での航空機の運行状況 (平成 20 年 12 月 1 日~12 月 31 日の運行状況は約 42%, 広報みやげ (Vol. 467)) 改善に役立てたい。

謝辞: DOAS 観測は三宅島役場防災安全係の支援を受けて行われた。また、地上測定 of 火山ガス (SO₂) データを提供して頂いた。ここに、記して謝意を表す。

<参考文献>

近藤昭彦 (2004): グローバルリモートセンシングによる植生・土地被覆変動の抽出とその要因解析、水文・水資源学会誌、17、459-468.

原田一平・近藤昭彦 (2005): TM の熱赤外データと AMeDAS の気温データを利用した東京圏のヒートアイランドの広域化の解析。Machida Isao, Sun-hoon Lee (2008): Delayed Impact of New Volcanic Ejecta on Ground Water Quality, Ground Water, 46, 532-538.

Sato, T. and Machida, I. *et al.* (2006): Geochemical changes in spring water associated with the 2000 eruption of Miyakejima Volcano, Japan. Pure and Applied geophysics, 163, 809-823.

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 1 件)

- ① Machida Isao, Sun-hoon Lee, Delayed Impact of New Volcanic Ejecta on Ground Water Quality, Ground Water, 46, 532-538, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 栗山健二、片岡大祐、松本拓、原田一平、眞子直弘、久世宏明、長光路差分吸収分光 (DOAS) 法を用いた二酸化炭素 (CO₂) の近赤外吸収の計測、第 56 回応用物理学会、2009 年 3 月 31 日、筑波大学 (つくば)。
② 片岡大祐、松本拓、増田健二、原田一平、久世宏明、由井四海、天空光と人工光源を利用した大気中の長光路光伝搬によるエアロゾルと大気汚染物質の連続計測、第 16 回 SICE リモートセンシングフォーラム、2009 年 3 月 2 日、財団法人リモートセンシング技術センター (東京)。
③ K. Kuriyama, D. Kataoka, T. Matsumoto, I. Harada, H. Kuze, Near-infrared and near UV absorption measurements of atmospheric trace species using differential optical absorption spectroscopy (DOAS), The 14th CERES International Symposium, 2008 年 11 月 13 日、千葉大学 (千葉)。
④ 原田一平、片岡大祐、松本拓、増田健二、久世宏明、他 6 名、DOAS 法と MAX-DOAS 法

を用いた大気汚染成分の同時計測、第 34 回リモートセンシングシンポジウム、2008 年 11 月 7 日、気象研究所 (つくば)。

- ⑤ I. Harada, D. Kataoka, M. Miyazaki, T. Ichinose, H. Kuze, Measurement of NO₂ and aerosol in the urban atmospheric using differential optical absorption spectroscopy (DOAS) with a PC projector light source, The 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, 2008 年 10 月 6 日、フライブルグ大学 (ドイツ)。
⑥ I. Harada, D. Kataoka, M. Miyazaki, T. Ichinose, H. Kuze, Measurement of atmospheric pollutants using differential optical absorption spectroscopy (DOAS) with a PC projector light source, Indonesia-Japan Joint Scientific Symposium, 2008 年 9 月 9 日、千葉大学 (千葉)。
⑦ 栗山健二、片岡大祐、原田一平、久世宏明、長光路差分吸収分光 (DOAS) 法を用いた危険有害物質 (HNS) の近赤外吸収の計測、第 69 回応用物理学会学術講演会、2008 年 9 月 3 日、中部大学 (名古屋)。
⑧ 原田一平・宮崎正志・片岡大祐・一ノ瀬俊明・久世宏明、プロジェクト光源を利用した長光路差分吸収分光 (DOAS) 法による大気 NO₂ とエアロゾルの計測、日本地球惑星科学連合大会、2008 年 5 月 28 日、幕張メッセ (千葉)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 一平 (HARADA IPPEI)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・協力研究員

研究者番号: 8 0 4 5 1 7 4 8

(2) 研究分担者

町田 功 (MACHIDA ISAO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号: 8 0 4 3 5 7 6 8

(3) 連携研究者

久世 宏明 (KUZE HIROAKI)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授

研究者番号: 0 0 1 6 9 9 9 7