

ALOS-2 衛星画像を用いた口永良部島の火山活動モニタリング

原 香実^{*1}・リュウ・ウェン^{*2}・山崎文雄^{*2}

Monitoring of Volcanic Activity in Kuchinoerabu Island from ALOS-2 Data

Konomi HARA^{*1}, Wen LIU^{*2} and Fumio YAMAZAKI^{*2}

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) is a very useful tool for detecting surface changes and deformation caused by volcano activities because of its independence from weather and daylight conditions. A volcano in Kuchinoerabu Island, Kagoshima, Japan, erupted explosively and pyroclastic flows reached the coastal area on May 29, 2015. In this study, ALOS-2 PALSAR-2 data were used to analyze surface changes and deformations associated with the eruptive activity. The pyroclastic flows around the Shindake crater were observed by the differences of backscattering coefficients and the coherence values. Changed areas were extracted by a threshold value of the coherence, and were compared with a visual interpretation result conducted by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI). The ground deformation due to the eruption was detected by the interferometric analysis, and its vertical component was estimated by combining the results from two InSAR pairs.

Keywords : InSAR analysis, volcano, ground deformation, ALOS-2 PALSAR-2

1. はじめに

日本列島は複数の火山帯の上に位置しているため火山活動が活発で、噴火や地震、地殻変動が頻繁に発生している。日本国内の現在の活火山は110であり、そのうち50火山が常時観測火山として火山噴火予知連絡会により選定されている¹⁾。ここ数年でも、それに選定されている口永良部島や御嶽山、桜島、箱根山をはじめとして噴火活動が活発化しており、火山活動のモニタリングの重要性が増している。噴火の予兆を捉えるためには、対象とする火山の定期的な観測・調査が必要であり、噴火が発生した場合は、その影響範囲や被害を迅速かつ安全に把握しなければならない。こうした調査のためのリモートセンシング技術は、近年その重要性・有用性が再確認されている。火山活動のモニタリングにおいては、溶岩や火砕流等の噴出物による被害域の把握に加え、地盤の隆起や伸縮などの地殻変動の観測も重要である。この観測には全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) やレーザー光線を用いた光波測距 (EDM: Electric Distance Meter)、水準測量などの手法が挙げられるが²⁾³⁾、近年新しい手法として注目されているのが合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) であ

る⁴⁾。SARは人工衛星や航空機などに搭載されて、電磁波を自ら発して得られた反射波を計測するセンサで、光学衛星と違い昼夜の区別なく、噴煙や雲などにもほとんど影響されない。また、同じ地点で異なる時期に観測されたSARデータの干渉処理を行うことで、より精密な地殻変動を面的に把握することができる。

近年では、入部ら⁵⁾が2011年に噴火した新燃岳の火山活動をRADARSAT-2により観測し、多偏波の複数時期SARデータから地表面変化の抽出を行った。大野ら⁶⁾はSARセンサと光学センサを適宜使用し、西の島火山活動の変遷を捉えている。また、干渉解析技術を用いた研究として、矢来ら⁷⁾はALOS-2による観測データの干渉解析により、箱根山や桜島の火山活動による地殻変動を検出した。Congら⁸⁾はミリメートル単位で地盤変動を把握できるPS-InSAR (Permanent Scatter SAR) 解析により、ポルトガルのアゾレス諸島に位置するフォゴ山の火山活動把握に応用した。Arciniegasら⁹⁾はSARデータのコヒーレンスが地震前後で変化することに着目し、2003年イラン・バム地震について、ENVISATデータから市街地における建物の被災範囲と被害程度を検出し、その精度に関する検討を行った。安藤ら¹⁰⁾も2010年のアイスランドの火山噴火に対して、ALOS PALSARデータの干渉解析により地殻変動を検出

(2016. 3. 25 受付, 2016. 8. 5 改訂受理)

*1 元千葉大学大学院生

〒263-8533 千葉市稲毛区弥生町 1-33

*2 千葉大学大学院工学研究科

〒263-8533 千葉市稲毛区弥生町 1-33

*1 Former Graduate Student, Chiba University, 1-33, Yayoi-cyo, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

*2 Graduate School of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoi-cyo, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

Table 1 PALSAR-2 data pairs used in this study

	Date (JST)	Off-nadir Angle	Pair		
			A	B	C
Path 1	2015 / 03 / 04 00 : 18	32.8°	●	●	
	2015 / 05 / 27 00 : 18		●		
	2015 / 06 / 10 00 : 18			●	
Path 2	2015 / 01 / 23 23 : 43	32.0°			●
	2015 / 05 / 29 23 : 43				●

し、その結果から圧力源の推定を試みている。

このような陸域の自然災害を観測する SAR 衛星については、2014 年 5 月 24 日に宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が ALOS の後継機として打ち上げた陸域観測技術衛星 ALOS-2 の利用が国内外で広がっている^{11)~13)}。搭載された L バンドの PALSAR-2 センサには、より精度の高い干渉解析を行うことができる高性能な観測モードが追加されており¹⁴⁾、自然災害や環境変動の把握に大いに貢献すると考えられる。

本研究では、この ALOS-2 PALSAR-2 から得られた複数時期の SAR 画像を用いて、2015 年 5 月に噴火した口永良部島における火山活動のモニタリングを試みた。具体的には、強度画像の差分やコヒーレンスを用いて火砕流による地表面の被覆変化を抽出し、干渉解析により噴火前後における地盤変位量を検出した。

2. 対象地域と使用データ

本研究の対象地域である鹿児島県熊毛郡屋久島町の口永良部島は、屋久島の西方約 12 km に位置し、現在もなお活動中の新岳・古岳・野池山や、古い火山体の番屋ヶ峰など複数の火山体からなる火山島である¹⁵⁾。2015 年 5 月 29 日午前 9 時 59 分に新岳で爆発的噴火が発生し、噴煙は新岳火口上空約 9,000 m 以上の高さまで上がり、大きな噴石が火口周辺へ飛散した¹⁶⁾。この噴火に伴い発生した火砕流は、新岳火口から島の全方向へ流下し、学校や住宅の広がる向江浜地区を通過して海岸へまで到達した。

本研究で使用した SAR データは、PALSAR-2 から高分解能モードで取得した 3 m 分解能の単偏波 (HH) 画像である。噴火の前後にかけて Path 1 (上昇軌道、照射方向右) から観測した 3 時期画像と、Path 2 (上昇軌道、照射方向左) から観測した 2 時期画像の計 5 つを用い、Table 1 に示すペアにより、噴火前後の地表面性状の変化について検討した。なお、ペア A のみ噴火の前と直前の組み合わせであり、ペア B, C については噴火前後の組み合わせである。なお、ペア B について、同じく噴火前後のペア C の観測が 1 月と 5 月となっているため、できるだけ近い観測期間となるよう 3 月と 6 月のデータを組み合わせた。すべてのデータは Lv. 1.1 の SLC データ (Single Look Complex, シングルルッ

ク複素画像) として提供された。

3. 強度画像による解析

最初に SAR 画像を式 (1) により後方散乱係数 σ^0 [dB] に変換した¹⁷⁾。

$$\sigma^0 = 10 \cdot \log_{10} (POWER) - 83.0 - 32.0 \quad (1)$$

Path 1 について 3 時期の後方散乱係数を、Path 2 については 2 時期の後方散乱係数をカラー合成したものを Fig. 1 (a), (b) に示す。そのうち新岳と古岳付近を拡大したものが Fig. 1 (c), (d) である。どちらのペアにおいても北側の新岳火口周辺を中心として地表面の後方散乱に変化が見られるが、その南側に位置する古岳周辺では明確な変化は見られない。この様子からも、今回の噴火が新岳のみで発生したことが確認できる。また、Path 1 からは島中央部で湾状になっている向江浜に向かって薄い赤色の分布が確認でき、火砕流の流下した範囲に一致する。

Table 1 に示す 3 ペアについて、2 時期の後方散乱係数の差分を式 (2) にて算出した。

$$d = \bar{I}b_i - \bar{I}a_i \quad (2)$$

ここで、 i は画像中のピクセル番号、 $\bar{I}a_i$ 、 $\bar{I}b_i$ は前 (a) と後 (b) の後方散乱係数の i 番目のピクセルを中心とする 9×9 ウィンドウの平均値である。この差分の算出結果を Fig. 2 に示す。

これより、ペア A では噴火の直前にかけて島全体で若干の σ^0 の減少傾向が見られる。気象庁の過去の気象データを確認したところ、口永良部島では観測データがないものの、屋久島にあるアメダスの観測では、一枚目の画像取得日の前日 (3 月 3 日) に屋久島で 37.0 mm/日、尾之間で 17.0 mm/日のまとまった降水があった¹⁸⁾。同様の降水が口永良部島でもあった場合、土壌中の水分量が増えて比誘電率が高まり、この画像において後方散乱強度が増加していた可能性があると考えられる。またペア B では、新岳火口北側と島中央部の湾に向かう方向に σ^0 の増加が見られた。湾に向かって直線状に σ^0 が増加しているのは、火砕流が火口から流下したことによるものと考えられる。国土地理院の航空写真を見ると災害前は森林に覆われた小さな河川溪

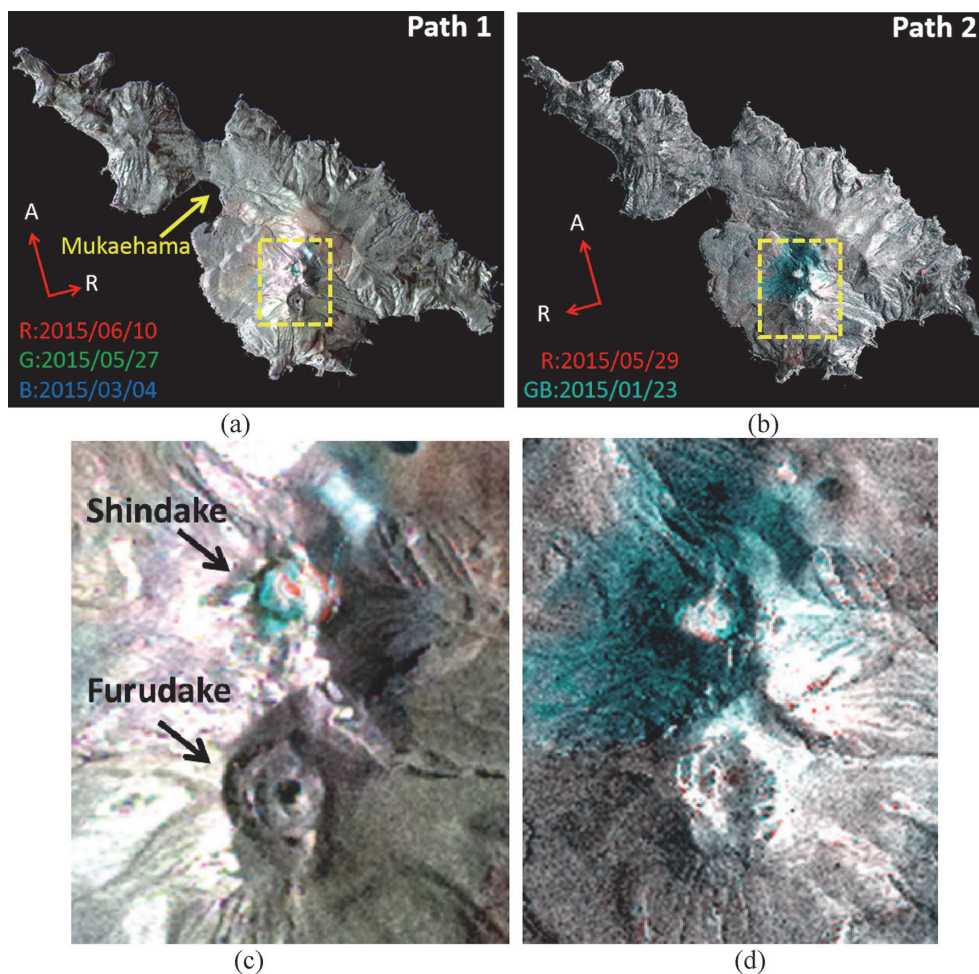


Fig. 1 Color composite of PALSAR-2 images from Path 1 (a) and Path 2 (b), respectively, and their close-up of Shindake and Furudake (c-d).

谷になっており、噴火後にこの範囲で火砕流によって樹木が焼失し（したがって体積散乱が減少し）、山肌が露出したり火山灰で覆われた状態に変化したことがわかる。つまり、この変化により照射されたマイクロ波が山肌まで到達して表面散乱の状態となり、マイクロ波に対して垂直に近い入射となる斜面において後方散乱が強くなったと考えられる。同様の変化が火口北側でもあったと推察される。さらにペアCでは、同じく噴火前後のペアであるペアBの新岳火口中心部と同様に σ^0 の減少が見られた。これは噴火により火口付近に火山灰などの火山噴出物が堆積したことにより後方散乱が減少したものと考えられる。また、噴火の4ヶ月前から噴火直後にかけて島全体では σ^0 の変化はほとんど見られなかった。このように噴火との時期の前後関係と撮像時の気象条件などから火口周囲の σ^0 の増減は異なる結果となったが、火山噴出物による地表面の変化を確認することができた。

4. 干渉解析とその結果

4.1 干渉解析の手順

今回の噴火における地殻変動を把握するため、SARscapeソフトウェアを使用して干渉処理を行った。はじめに、各ペアのベースライン（基線値）を計算・推定し、干渉処理が可能かどうか確認を行ったのち、初期の干渉画像を作成した。この段階の干渉画像は、軌道縞・地形縞、地殻変動による変動縞とノイズを含んでいるため、軌道情報や基線値から得られた衛星-地表-地球の幾何学関係を用いて軌道縞を除去し、標高モデル（DEM）からシミュレーションした地形縞情報を利用してこれも除去した。これらを除去した後の干渉画像の位相ノイズをGoldsteinフィルターにより除去し、対応するコヒーレンス画像を作成した。干渉SARで得られる位相は $-\pi$ から π の間の値をとり変動の絶対値が計算できないため、この範囲内に折り畳まれている位相情報を繋いで変動の絶対値に戻す位相アンラッピング処理を行った。衛星の軌道情報と位相情報のオフセットのパラメータを再計算し、地表面の変位図を作成した。こ

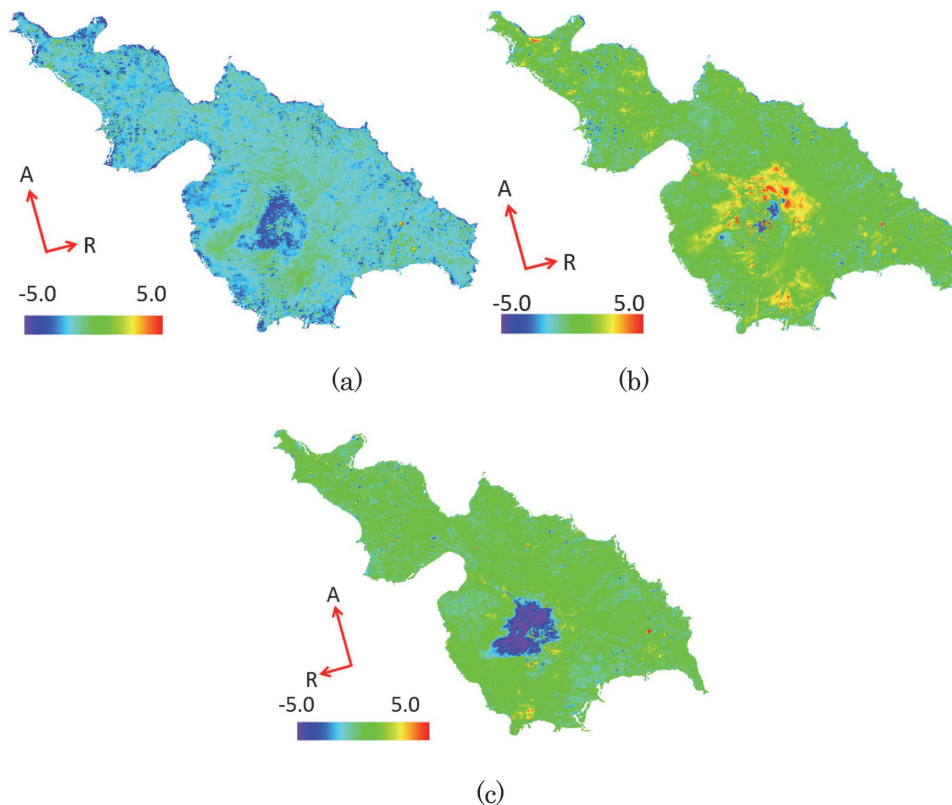


Fig. 2 Difference of the backscattering coefficients for Pairs A (a), B (b) and C (c), respectively.

こまでの処理・計算は、SAR 観測のレーダー座標系で行っているため、地球物理学的な解析を行えるよう、実際の地表の座標系に変換（ジオコーディング）した。

本研究ではこの干渉処理を Table 1 に表す 3 組のペアに対して行った。それぞれの計算では、ペア中のより早い時期に得られたデータをマスター画像、もう一方をスレーブ画像とした。

4.2 コヒーレンスによる被害域抽出

コヒーレンスを用いた変化抽出は、SAR 画像による地表変状や被害の判読で行われる手法の一つである⁹⁾¹⁹⁾。本研究では Fig. 4 に示す国土地理院の噴火による変化域の判読結果²⁰⁾ を正解データとして、コヒーレンスにより抽出された範囲と比較し、抽出率・正答率の精度を確認した。なお、この検討では火砕流による変化域の抽出を試みたため、新岳火口周辺を含む図中の青枠内に精度計算の対象範囲を絞っている。

干渉処理の過程で得られるコヒーレンス画像を Fig. 3 に示す。噴火前と直前の画像のペア A では、新岳火口付近とその南側においてコヒーレンス値が 1 に近い結果となり、この時期では火口付近において位相が揃いになったり揃い辛くなったりする顕著な地表変化や地盤変位は無いことがわかる。一方で噴火前後のペア B, C では、ともに火口周辺において著しくコヒーレンス値が低い結果となった。これはマスター画像とスレーブ画像での位相が揃わず、地表の様子噴火前後で著しく変化したことを示し

ている。噴火後の山体の収縮も少なからず関係すると思われるが、大きな要因は噴火時の火砕流により地表性状が変化したことによるものと考えられる。また、ともに火口付近から島中央部の湾に向けてコヒーレンスが低い帯状の範囲が観察できる。これは地表に何らかの変化があったことを示しており、後方散乱係数の差分画像でも確認できた向江浜への火砕流の流下に対応するものと考えられる。

さらに、ペア B はペア A に比べて島の北西部を含めて全体的にコヒーレンス値が低く、コヒーレンス値が低い火口周辺の南部では高いコヒーレンス値を示している。一方ペア C では、ペア B とは異なり島の北部から北東部にかけてコヒーレンスが高く、島の南部では低い値を示しており、ペア B とペア C でコヒーレンスの分布が異なっている。ペア C の二枚目の画像撮像時間は噴火当日夜であり、撮像の 2 時間ほど前の 21 時 50 分に噴煙は火口縁上約 1200m の高さの上っているとの気象庁の発表があったことから、当時も激しい噴火活動が続いていたと考えられる。よってこのコヒーレンスの違いはこの噴煙の影響で撮像が著しく異なる環境で行われたことによるものと推察される。これらのコヒーレンス解析結果から、噴出物や地盤変位は火口周辺に広がり、火砕流は向江浜方向では海岸まで到達したと考えられる。

次に対象エリア内で各ペアの火口付近のコヒーレンス値 () のヒストグラムを Fig. 5 に示す。これらを比較すると、

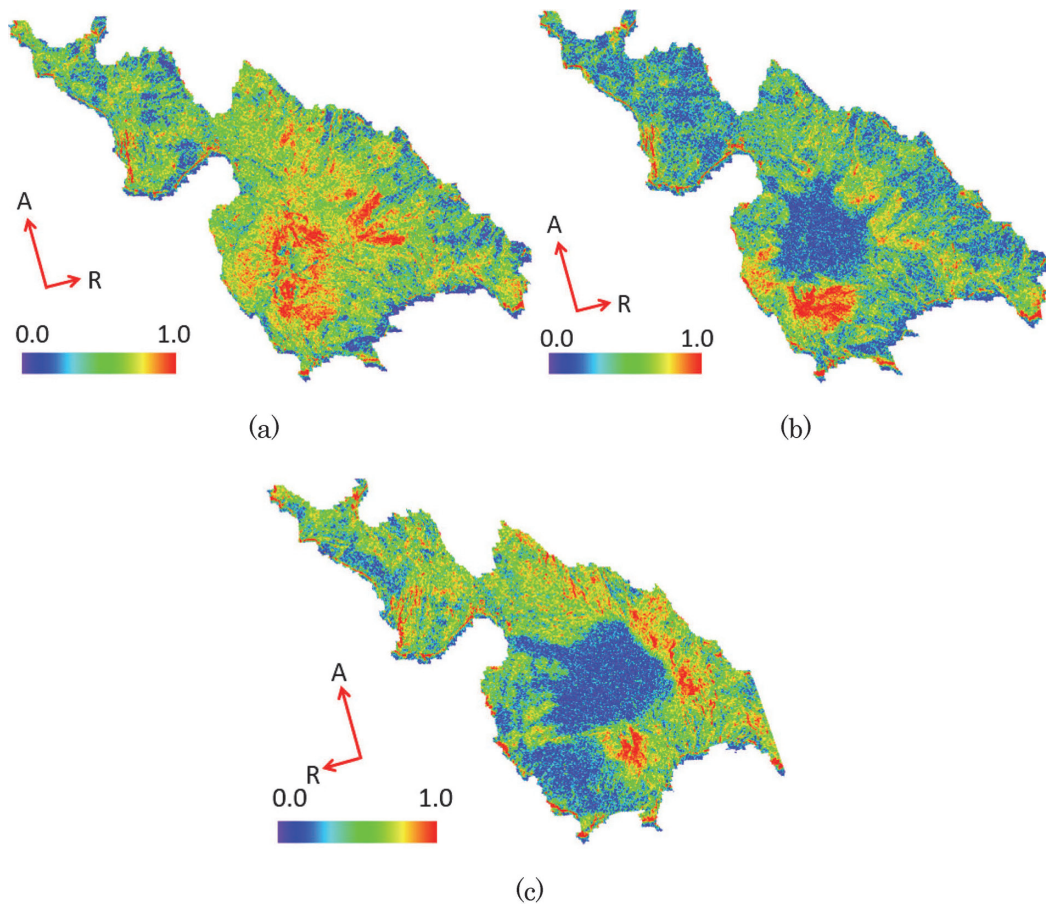


Fig. 3 Coherence calculated from Pairs A (a), B (b) and C (c), respectively.

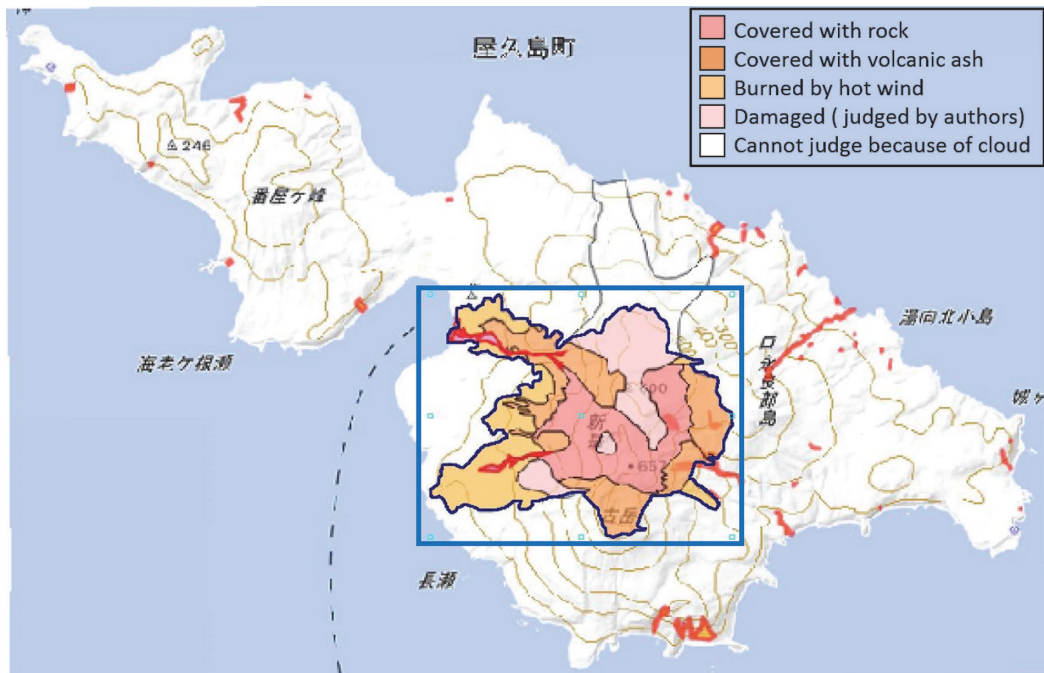


Fig. 4 Affected areas by pyroclastic flow (detected by Geospatial Information Authority of Japan) and the study area for calculating accuracy (inside the blue rectangular)

ペア A では全体的にコヒーレンス値が高いのに対し、ペア B と C ではコヒーレンスが低い範囲が多くなっている。既往の研究では、市街地の災害による地表面変化についての閾値をとって変化した範囲を抽出しているが²¹⁾²²⁾、本研究では試行錯誤の結果、閾値をに設定して火砕流による影響範囲の抽出を試みた。

この判読に用いられた空中写真は、国土地理院が鹿児島県三島村と協力のうえ無人航空機 (UAV) を飛行させ、2015 年 7 月 14 日、9 月 8、11、12 日に撮影したものである²⁰⁾。判読は二回行われ、一度目は 7 月 14 日撮影の写真、二度目は 9 月撮影の写真を用いて再度行っており、本研究では後者のデータを使用した。なお、この判読結果内に白色で示された雲による判読不能領域については、変化領域に囲まれた火口付近の範囲を正解データに含め、火口周辺から島の北側においては、九州地方整備局が斜め方向から UAV により撮影した空中写真と Landsat-8 衛星による光学画像²⁰⁾ を参考にして変化域に加えた。この結果、噴火による影響範囲を Fig. 4 の青線で囲まれた地域とみなし、SAR 画像からの抽出結果を Fig. 6 に、その精度を Table 2 に示す。なお、抽出率 (PA : Producer's Accuracy) は正解データのうち抽出できたデータの割合、正答率 (UA : User's Accuracy) は抽出したデータのうち正解に含まれているデー

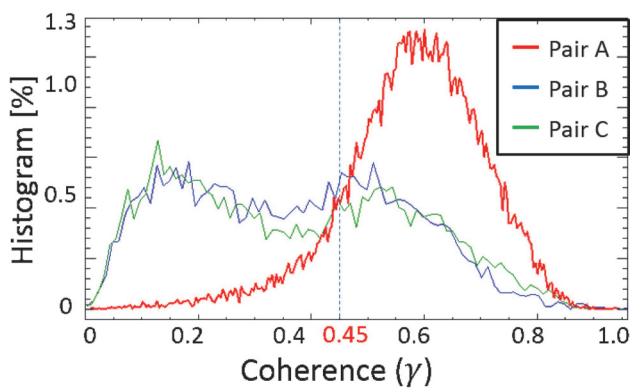


Fig. 5 Histogram of coherence value in the study area

タの割合を示している。ペア B と C では照射方向が異なっているが、おおよそ同じ面積の範囲を変化域として抽出できたといえよう。一方で、検出された変化域について、多くの岩塊が堆積した領域 (Covered with rock) は検出精度が良かったが、火山灰が堆積した領域 (Covered with volcanic ash) と熱風による植生焼損の領域 (Burned by hot wind) は、火口の西南西方向から海沿いに向かう領域と新岳火口の南側である古岳火口周辺において精度が低下した。検出精度を下げる要因を調べるため Landsat-8 衛星画像を用いて確認したところ、前者の領域では樹木が多く立ち並んでおり、噴火による火山灰の木々への被覆や葉の焼損の様子が多く見られるものの根元からなぎ倒されるような変化は見られないことから、Lバンドの電磁波が散乱しやすい地面付近での変化が捉えられなかったためと推測される。さらに後者について、噴火前の 5 月 21 日撮像の Landsat-8 画像からは、古岳は今回の新岳噴火前から以前の噴火によると見られる火山灰等の火山噴出物に覆われていることから、噴火前後での著しいコヒーレンスの変化が得られなかったためと考えられる。

4.3 干渉画像を用いた鉛直方向の地盤変位抽出

干渉解析で得られたインターフェログラムを Fig. 7 に示す。この画像中の縞模様は位相のずれから計算された地盤変位の様子を表しており、ペア A の結果によれば噴火前にかけて衛星に近づく方向 (西南西上空方向) に約 8 cm 山体が膨張していることがわかる。一方でペア B, C については火口周辺において非干渉と見なされる砂状模様となっており、地表の状態が大きく変化したことを表している。ペア B では非干渉領域の周囲と古岳周辺で西南西上空方向

Table 2 Accuracy of detected affected areas for the two pairs.

	Producer's Accuracy [%]	User's Accuracy [%]
Pair B	77.2	66.1
Pair C	82.1	68.0

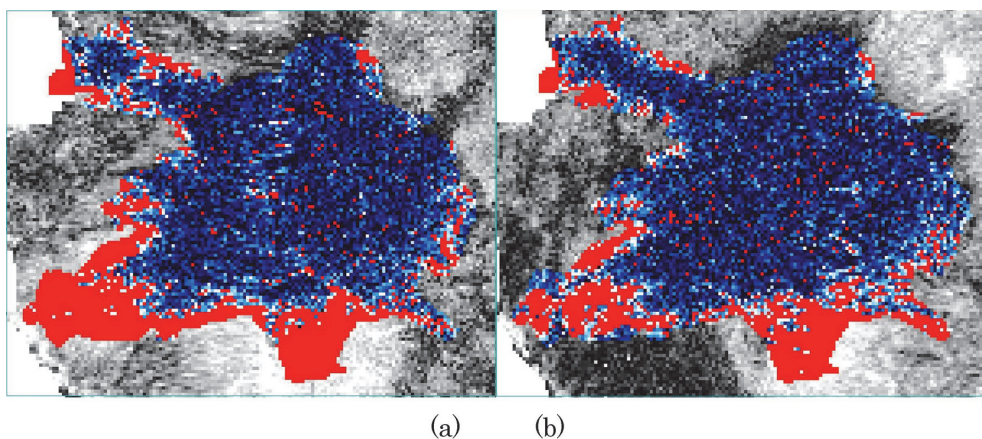


Fig. 6 Comparison of detected pyroclastic flow (blue) and its truth data (red) for Pairs B (a) and C (b)

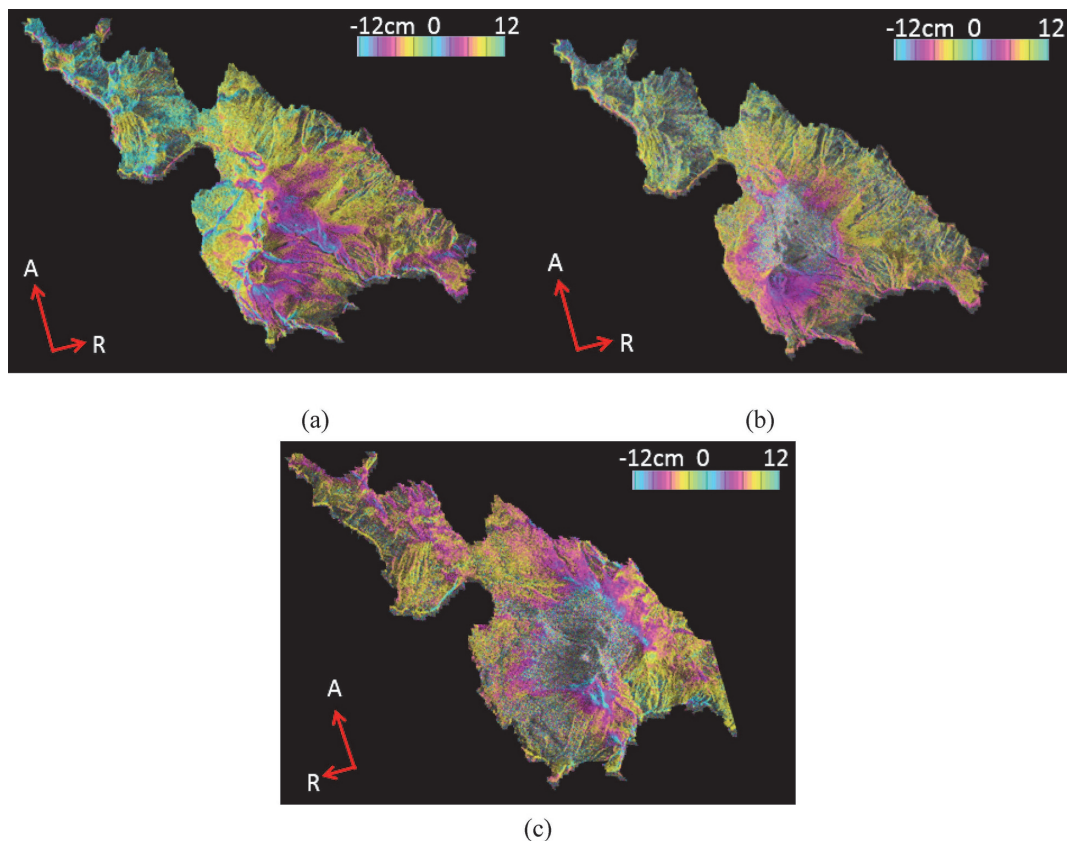


Fig. 7 Interferogram obtained from Pairs A (a), B (b) and C (c), respectively.

へ約 8 cm 程度の位相短縮が見られ、ペア C では島の北西部と非干渉領域周辺で東北東上空方向へ約 8~10 cm の位相短縮が見られる。これらは噴火で噴出した火山灰などの火山噴出物が堆積したことによると考えられる。

次に、干渉解析結果では 3 次元の変位量が 1 次元（衛星方向）の変位量に変換されることを利用し²³⁾、SAR 画像における水平・鉛直成分変換を表す式 (3) を用いて、鉛直変位量を算出した (Fig. 8)。

$$M_S = (D_E \cos \alpha - D_N \sin \alpha) \sin \theta - D_Z \cos \theta \quad (3)$$

$$D_Z = -\frac{M_{S1} \sin \theta_2 + M_{S2} \sin \theta_1}{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2} \quad (4)$$

ここで、 D_E 、 D_N は東および北向きの変位量、 D_Z は鉛直方向の変位量、 α は北に対する向首角、 θ はレーダー入射角である。また添字の 1, 2 は、ペア B, C を表している。なお、この計算には噴火前後のペア B と C のデータのみを用い、向首角 α が等しいため、 D_Z を式 (4) にて求めた。また、算出エリアはペア C のデータ範囲に合わせているため島東端は含めず、コヒーレンス値が低い ($\gamma \leq 0.3$) 範囲は除いた。

この算出結果によると、新岳火口外側に環状に山体が 8~10 cm 鉛直方向に収縮していることが確認できる。これは噴火前に膨張していた山体が、火砕流等の噴出により

収縮したものと推察できる。新岳以外の範囲については、局所の変化があるものの目立った鉛直方向の地盤変位は確認できない。

噴火後を含むペアでは、火口付近でコヒーレンスが著しく低いため非干渉となり、鉛直変位や地形変化を確認できなかった。こうした火口付近の変化について、永谷ら²⁴⁾ はマルチコプターを用いた観測から 3 次元モデルを作成して火口形状の把握をしている。また火山島全体についても、宮沢ら²⁵⁾ は無人航空機を用いて西之島や口永良部島を空中から観測し陸地面積の計測や火山活動の監視を行っており、こうした無人航空機等による補完的な観測も必要と考えられる。

5. まとめ

本研究では、2015 年 5 月 29 日に噴火した鹿児島県口永良部島の火山について、ALOS-2 搭載の PALSAR-2 センサから取得した L バンド SAR 画像を用いて、噴火前後における地表面の性状変化と変位の様子を調査した。レーダー照射方向の違いより、2 つのパスから得られた噴火前後の後方散乱係数のカラー合成図の色合いは異なったが、噴火によると思われる地表面性状の変化を把握することができた。とくに新岳付近については、噴火前後で顕著な変化が見られ、噴出物や火砕流により火口の周りに岩塊などが堆

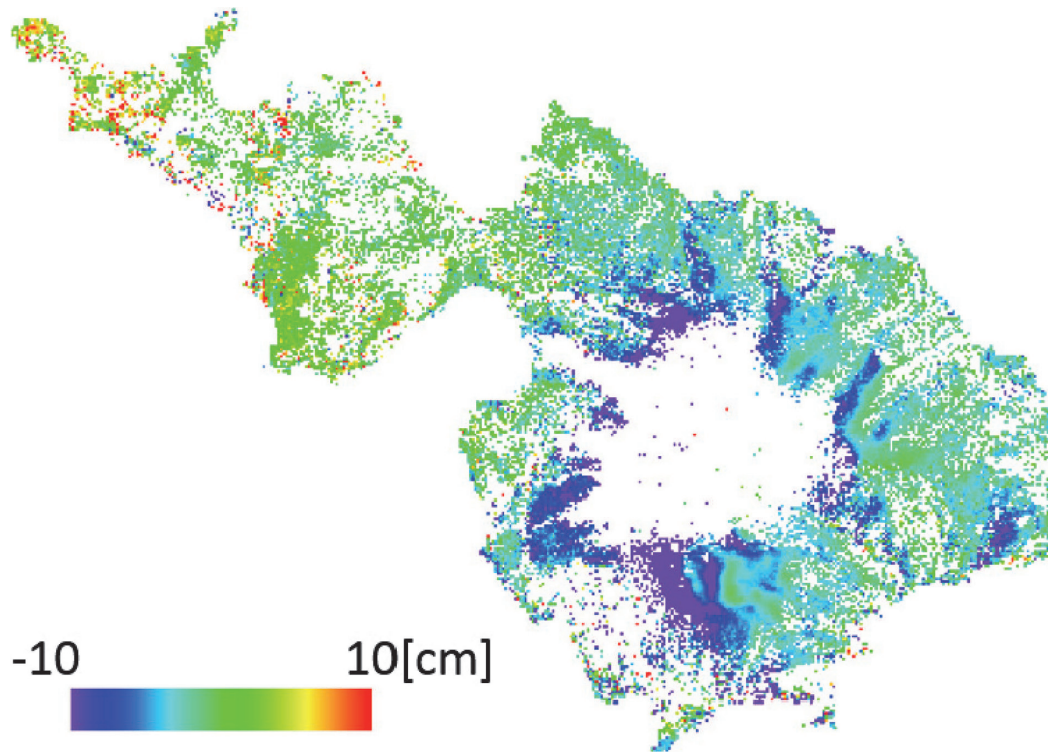


Fig. 8 Vertical ground displacements calculated from the interferograms

積し表面被覆が変化したことや、噴火前後での後方散乱の増減が確認できた。火口から向江浜地区に向かう地域については、火砕流の流下によると見られる表面被覆の変化を確認することができた。後方散乱係数の差分図からは、噴火前後にかけて照射方向により見え方は異なるものの、火口付近の著しい変化の様子が確認できた。これらの変化も火砕流や噴出物による表面被覆の変化に起因すると考えられる。

干渉解析を用いた検討では、コヒーレンス結果からは噴火前の2時期においては、地表面における変化はほとんど見られないことが分かった。噴火前後のペアにおいては、火口周辺において著しくコヒーレンス値が低く、噴火によって地表面の様子が大きく変化したことがわかる。これは噴火後の山体の収縮に加え、火砕流や噴出物に起因するものと推測された。火口付近から島中央部の湾へ向けても同様の結果が得られ、火砕流の流下域が明確に捉えられた。さらにコヒーレンスのヒストグラムを噴火前後で比較し、閾値を設定することで火砕流や噴出物による変化域を抽出することができた。

さらに干渉画像からは、噴火前後の結果で火口周辺において非干渉となり、地表面の状態変化を示す結果となった。3つのペアの干渉結果からは、マイクロ波の照射方向が大きく影響していることが確認できた。また鉛直方向変位を干渉結果より推定したところ、新岳火口外側で環状に山体が8~10 cm 収縮しており、噴火前に膨張した山体が火砕流の噴出で収縮したと推定された。一方、コヒーレンスが低い火口周辺においては、変位を確認することはできな

かった。口永良部島の火口付近については国土地理院が無人機による観測を行っており、今後はこれによる光学画像から構築した3次元モデルを活用し、地形や火口付近の斜面変化・崩落の様子などを把握したいと考えている。

謝 辞：本研究で使用した ALOS-2 データの所有権は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) にあり、「陸域観測技術衛星 (ALOS-2) 研究公募型共同研究 (RA4)」の PI 番号 1503 を通じて提供を受けたものである。

引用文献

- 1) 気象庁：http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html#kanshikazan (2016. 6. 24).
- 2) T. Matsushima and A. Takagi: GPS and EDM monitoring of Unzen volcano ground deformation, *Earth Planets Space*, 52, pp. 1015-1018, 2000.
- 3) 山本圭吾, 高山鉄朗, 山崎友也, 多田光宏, 大倉敬宏, 吉川 慎, 松島 健, 内田和也, 中元真美, 平岡喜文, 塩谷俊治, 根本盛行: 水準測量による桜島火山および始良カルデラ周辺の地盤上下変動—1996年10月から2007年10月—12月まで—, 京都大学防災所年報, 第51号B, pp. 247-252, 2008.
- 4) U. Munzer, K. W. Diefenbach: Remote sensing of subglacial eruptions in Iceland and the development of related warning systems, *Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*, 364, pp. 515-520, 2003.

- 5) 入部絏一, 根岸正浩, 村木広和, 佐々木寿: RADARSAT-2 が捉えた新燃岳の噴火活動, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 50, No. 2, pp. 64-65, 2011.
- 6) 大野裕幸, 野崎高義, 大木真人: 各種センサの画像で見る西之島火山活動の変遷, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No. 1, pp. 46-51, 2015.
- 7) 矢来博司, 小林知勝, 森下 遊, 山田晋也, 三浦優司, 和田弘人, 仲井博之, 山中雅之, 攪上泰亮, 上芝晴香: だいち2号の干渉 SAR による火山活動モニタリング, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 55, No. 1, pp. 6-11, 2016.
- 8) X. Cong, M. Eineder, S. Gernhardt, C. Minet: Diverse Methods to Monitoring Volcanic Deformation Based On SAR Interferometry, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE international, pp. 661-664, 2010.
- 9) G. A. Arciniegas, W. Bijker, N. Kerle and V. A. Tolpekin: Coherence and Amplitude-Based Analysis of Seismogenic Damage in Bam, Iran, Using ENVISAT ASAR Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45, No. 6, 2007.
- 10) 安藤 忍: ALOS データを用いた InSAR 解析により捉えられた 2010 年 Eyjafjallajökull 火山噴火に伴う地殻変動, 測地学会誌, 第 57 巻第 2 号, pp. 49-59, 2011.
- 11) R. Natsuaki, M. Watanabe, T. Motooka, M. Ohki and M. Shimada: Accuracy Improvement by Residue and Amplitude based Local Co-registration Method for ALOS-2 / PALSAR-2 DINSAR, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 302-305, 2015.
- 12) D. P. Belcher, P. S. Cannon and A. Gustavsson: The Ascension Island Experiment: Measurement of Ionospheric Scintillation Effects on PALSAR-2, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3191-3194, 2015.
- 13) F. Ogushi, T. Shinohara and M. Matsuoka: Surface Displacement Due to The 2014 North Nagano, Japan Earthquake Estimated from Differential Interferometry Technique with ALOS-2 PALSAR-2 Data, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3532-3535, 2015.
- 14) 島田政信, 鈴木新一: ALOS-2 PALSAR-2 の現状について, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No. 1, pp. 41-45, 2015.
- 15) 気象庁—口永良部島: http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/fukuoka/509_Kuchierabujima/509_index.html (2016. 3. 17).
- 16) 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台—口永良部島の火山活動解説資料, 2015. : http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/15m05/20150529_509_2.pdf (2016. 6. 24)
- 17) JAXA — ALOS-2/JAXA 標準プロダクトの精度評価結果: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/calval/calval_jindex.htm (2016. 6. 27)
- 18) 気象庁—過去の気象データ検索: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2016. 6. 27)
- 19) W. Li and M. Tamura: Extraction of Soil Liquefaction Areas around Tokyo Bay by Multi-temporal InSAR Coherence, Proceedings of the 52nd Spring Conference of Remote Sensing Society of Japan, pp. 151-152, 2012.
- 20) 国土地理院: <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h27-kuchinoerabu-index.html> (2015. 3. 11)
- 21) C. Yonezawa and S. Takeuchi: Decorrelation of SAR data by urban damages caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, International Journal of Remote Sensing Vol. 22, No. 8, pp. 1585-1600, 2001.
- 22) 日本リモートセンシング学会, 国土防災リモートセンシング研究会: 建設・国土防災分野における InSAR の実利用化に関する調査研究, InSAR 実利用化 WG 活動報告 (2005~2011 年) 公開版, 2013.
- 23) リュウ ウェン, 山崎文雄, 松岡昌志, 野中崇志, 笹川正: TerraSAR-X 強度画像を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における 3 次元地殻変動の検出, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 166-176, 2014.
- 24) 永谷圭司, 伊豆智幸, 手束宗弘: マルチコプターによる桜島昭和火山と周辺の撮影, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No. 3, pp. 116-117, 2015.
- 25) 宮沢広一: 平成 27 年 UAV による西之島と口永良部島の撮影について—国土地理院の対応—, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 55, No. 1, pp. 12-16, 2016.

〔著者紹介〕

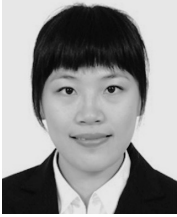
●原 香実 (ハラ コノミ)



所属：国土交通省国土地理院。2014年千葉大学工学部都市環境システム学科卒業。2016年同大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻修了。所属学会：日本リモートセンシング学会。

E-mail : konomi.h.s2@gmail.com

●リュウ ウェン



所属：千葉大学大学院工学研究科 建築・都市科学専攻。2008年千葉大学工学部都市環境システム学科卒。2010年千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻博士前期課程修了，2013年同専攻博士後期課程修了，博士（工学）。2011～2013年千葉大学日本学術振興会特別研究員（DC2），

2013～2014年東京工業大学日本学術振興会外国人特別研究員（PD）。2014年より千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻助教。衛星データを用いた都市情報の収集と災害後の被害把握に関する研究に従事する。日本リモートセンシング学会，日本地震工学会，土木学会，IEEEに所属。

E-mail : wen.liu@chiba-u.jp

●山崎 文雄 (ヤマザキ フミオ)



所属：千葉大学大学院工学研究科 建築・都市科学専攻 教授。1978年東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻 修士課程修了。1978年清水建設株式会社入社。1987年東京大学工学博士。1989年東京大学生産技術研究所助教授。2001年アジア工科大学院教授（JICA長期専門家）。2003年12月より現職。専門分野は，都市防災工学，地震工学。最近は，リモートセンシングの防災利用について研究。IEEE, SPIE, ASCE, EERI, SSA, 土木学会，日本地震工学会，日本リモートセンシング学会などに所属。中央防災会議専門委員，東京都地域危険度測定調査委員会，JAXA大規模災害衛星画像解析WG委員等を歴任。

E-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp