

ALOS-2/PALSAR-2 による災害観測について

島田 政 信

Disaster Observation Using the ALOS-2/PALSAR-2

Masanobu SHIMADA

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) will launch the Advanced Land Observing Satellite -2 to the Low Earth Observation Orbit in 2014. This satellite carries the enhanced version of the L-band Synthetic Aperture Radar (SAR), which is a high-resolution active microwave remote sensing sensor. The SAR offers the all-weather and day-night observation capability, and its application to global environmental issues, i.e., the forest, sea-ices at polar region, the ocean, and the disasters, is highly desired. This paper introduces the application capability of SAR to the disaster detection. Using the results obtained from the ALOS/PALSAR, we will discuss the information given from the ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2.

Key words: synthetic aperture radar (SAR), ALOS, PALSAR, interferometry, polarimetry

近年、衛星観測システムの高性能化と数の増加には目を見張るものがある。特に、高分解能センサーは地球表面の状況を細かく見ることができるとともに、分解能は光学・レーダーともに年を追うごとに向上し、今や 50 cm を切るものが現れている。地球観測の歴史の中では、光学センサーは 1970 年代に登場した (Landsat 衛星¹⁾ がそれである。合成開口レーダー (synthetic aperture radar; SAR) はそれに遅れること数年の 1978 年に登場したが、定常的な観測手段として使用されるには、さらに 10 数年を要した。1991 年、1992 年に、欧州宇宙機関 (European Space Agency, ESA)、宇宙開発事業団 (National Space Development Agency of Japan, NASDA) から打ち上げられたのが、Cバンド*¹、Lバンド*² SAR である (それぞれ、ESA Remote Sensing Satellite-1: ERS-1, Japanese Earth Resource's Satellite-1: JERS-1 に搭載された SAR である)。これらの衛星は 6~10 年運用され、さまざまに地球を観測した。森林情報、極域の氷、氷河、雪氷、海洋汚染、地殻変動、森林

伐採等々、すべて地球環境に関わる情報である。

そのなかで徐々に浮上してきたのが、SAR による災害情報の観測である。1995 年 1 月 17 日に発生した阪神淡路大震災に伴う地殻変動は、SAR が初めて捉えた大規模な地殻変動である²⁾。ERS-1 はその前に、有名なランダース地震を捉えていた³⁾。2006 年に、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は ALOS を打ち上げる。これは、地図作成、領域観測、資源観測のほかに、災害監視を目標としていた。JAXA は国際災害チャーターに加盟して、光学と SAR の両面から ALOS の災害監視能力を試してきた。その状況については、JAXA の地球観測研究センター (EORC) の Web*³ に公開されており、参考にしていただきたい。ALOS-2 が 2014 年に打ち上げとなっており、そのミッション目的にやはり災害監視も含まれていることから、本稿では SAR と災害監視について、その特徴や ALOS-2 への期待を、実例を含めて紹介する。

宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター (〒305-8505 つくば市千現 2-1-1) E-mail: shimada.masanobu@jaxa.jp

*¹ Cバンドはマイクロ波の波長帯のひとつであり、4~8 GHz の幅を有している。ERS-1 SAR では 5.3 GHz、つまり波長 5.6 cm を使用した。

*² Lバンドは 1.215~1.3 GHz の幅を有する波長帯の略称である。ただ、SAR として使用された JERS-1 SAR や ALOS/PALSAR では中心周波数として、それぞれ 1.275 GHz と 1.27 GHz (波長に換算して、それぞれ 23.5 cm と 23.6 cm) が使用された。

*³ JAXA の地球観測研究センターでは、災害発生時に ALOS 等を使用した災害解析を行い、随時情報公開をしてきた。公開サイトは http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index_j.htm である。

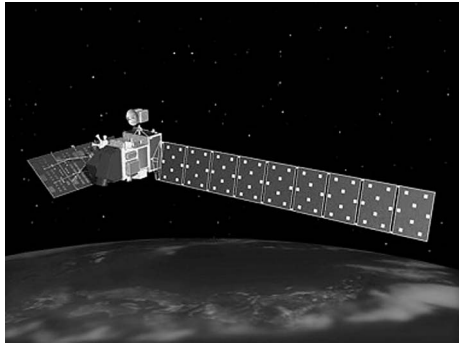


図1 ALOSと搭載されたPALSAR (画像奥に見えるのがSARのアンテナ, 手前のパネルは太陽電池).

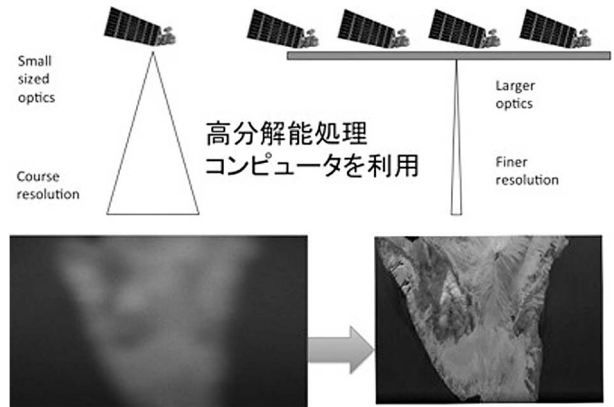


図2 生データと圧縮後のデータ (ハワイ島を観測したPALSARデータ).

1. 合成開口レーダー (SAR) とは

SARは、ほぼ直線運動する人工衛星や航空機に搭載され運用されるレーダーであり、観測対象物に向けて矩形の電波を放射し、観測対象物からの反射信号を取得する。SARは送信機、受信機、アンテナ、信号処理部で構成される。一例として、ALOSに搭載されたフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー (PALSAR) の外観図を図1に示すが、衛星進行方向 (アジマス方向という) に10 m、直交方向 (レンジ方向という) に3 mのアンテナが衛星進行方向の右サイドを占めている。その他の機器は衛星構体内に置かれる。

高度約700 kmを飛行する人工衛星から、進行方向右側に斜め下方向に照射された電波は、およそ20 kmの領域を照射する。人工衛星は対地速度が約6.7 km/秒のため、約3秒にわたって同じ場所を照射し続けることになる^{4,5)}。

ここで、送信信号は周波数変調により広帯域化されており、対象物からの受信信号を送信信号と相関処理することで高分解能化できる。これは、電波照射方向 (レンジ方向) の分解能の向上のことであり、レンジ圧縮とよばれる。一方、衛星進行方向には反射信号はドップラー周波数変移を受け (遠方から近づき、観測者の前を通り抜け、最後に遠ざかる救急車の音の変化と同じ)、受信信号はやはり周波数変調を受けることから、レンジ圧縮と同じ方法で圧縮

(高分解能化) できる。最終的に以下の分解能となる。

$$\begin{aligned} \rho_r &= c/2B_w \\ \rho_a &= L/2 \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 ρ_r はレンジ分解能、 c は光速、 B_w は信号の帯域幅 (信号に含まれる周波数の広がり)、 ρ_a はアジマス分解能、 L はアジマス方向のアンテナ長さである。最近のSARを例に、分解能を表1に示す。一部の例であり、はるかに分解能の高い航空機SARを含めていないが、レーダー・パラメーターの選び方によって高分解能センサーができる。

表1内の高分解能画像を衛星上で生成するのは計算機資源の観点から困難であり、衛星上では、その元になる生データを信号処理部で取得 (AD変換) するのみである。このデータは地上に送られ、高速処理 (相関処理) により高分解能画像を得る (図2参照)。

2. SARの特徴と感度

2.1 散乱係数と位相

SARが計測するのは、地表の散乱係数とレーダーと地表との往復距離をレーダー波長で割った余り (位相) の2つである。前者は、観測対象物の電磁気的な明るさ、後者は距離情報である。これら2つの情報の空間的な特性や時間的な変化から、土地利用分類や変化抽出が可能になり、災

表1 代表的なSARの分解能比較.

衛星	レンジ分解能 (帯域幅)	アジマス分解能 (アンテナ長さ)
ALOS/PALSAR	5.3 m (28 MHz)	4.5 m (9.0 m): Strip mode
ALOS-2/PALSAR-2	1.78 m (84 MHz)	1 m (10 m): Spotlight mode 5 m (10 m): Strip mode
Terra-SARX	0.5 m (300 MHz)	1 m (4.8 m): Spotlight mode 2.4 m (4.8 m): Strip mode
Radarsat-2	1.5 m (100 MHz)	1 m (15 m): Spotlight mode 7.5 m (15 m): Strip mode

害変化抽出に応用できる可能性がある。

2.2 偏 波

偏波とは電磁波を構成する電界の振動面のことであり、これが地面に対して平行（以下 H で表現）か垂直（同様に、以下 V で表現）かをいうもので、地表の構成の違いを異なる偏波で観測することで分類の可能性がある。例えば、森林と裸地の違いがこの偏波により散乱具合が異なるために、後述のように山間部の土砂災害の抽出に寄与できる。

2.3 干 渉

平行に飛行する 2 台の SAR から地表を観測したとすると、得られる 2 枚の画像の位相差は 2 台の SAR と対象物との距離の差に比例する。この中には、対象物の基準面からの高さ、二時期間の地面の変動が含まれる（後は、電離層の変動や水蒸気遅延等）。この結果、適切な処理をすることで、1) 二時期の間での地殻変動、2) 対象物の高さを得ることができる。

2.4 全天候性

信号源は自分自身であり、観測は太陽に依存しない。電力の許す限り運用できる。また、長い波長の信号ほど電波伝搬路上の粒子、すなわち雲や雨粒の影響を受けにくい。したがって、災害が発生する荒天時への適用が期待される。

3. 災害と SAR の関係

全天候性ゆえに SAR の災害への応用（災害に伴う変化抽出）が期待され始めたのは、JERS-1/SAR による阪神淡路地殻変動抽出が始点であると思われる。以下、いくつかの事例を紹介する。

3.1 阪神淡路変化抽出（干渉）

1995 年 1 月 17 日、明石海峡直下 10 km を震源とするマグネチュード 7.9 の直下型地震によって阪神淡路大震災^{*4}が発生した。図 3 は、これによって生じた野島断層、神戸西宮断層の隆起沈降に伴う地盤の変化を、880 日間離れた JERS-1 SAR データペアの処理から求めたものである。干渉（2.3 節に既述）を利用して作成されており、地盤の隆起沈降を色で表現している。判例の色の一周期はレーダー波長の半分の 11.8 cm であり、位相の推定精度は約 2 cm である。Lバンド SAR の特徴は干渉性の劣化が少ないことであり、このようにほぼ 3 年離れたデータも解析に役立てることができるというのは大きな特徴である。このような長

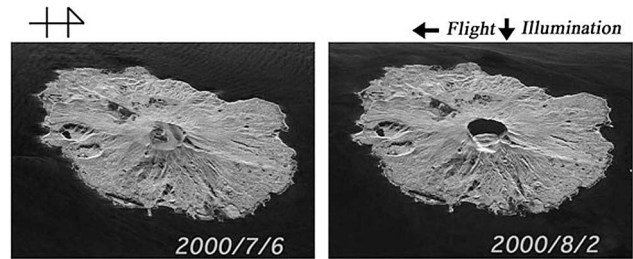


図 4 航空機搭載合成開口レーダー（Lバンド）による三宅島陥没の観測。

期間にわたっての干渉性の維持は、Cバンド、Xバンドにはみられない。

3.2 三宅島火山噴火と陥没（変化抽出）

2000 年 7 月 8 日に三宅島の雄山山頂が突然陥没し、山頂の形状が大きく変わった。これは、三宅島、新島等を含む周辺地域の地震活動^{*5}に強く関連したもので、図 4 は変化当日を挟む 7 月 6 日と 8 月 2 日の画像である。山頂部が大きく変化していることが一目瞭然である。陥没により電波の山頂部に対する当たり方が異なり、シャドーイング（影）領域が増加することで、前後比較での明るさの変化抽出が期待される。

3.3 十津川村土砂災害（ポラリメトリー）

2011 年 9 月上旬に降った大量の雨（一日当たり 1200 mm）のために、十津川村を中心とした急峻な山岳地帯で深層地滑りが発生し、森林で覆われていた領域が裸地として現れた^{*6}。地滑り域（裸地）と森林域の区別は、Lバンド SAR のポラリメトリーで検出可能である。理由は、Lバンド信号は森林に対する電波の透過性に優れ、森林では体積散乱が、地滑り域では表面散乱が支配的であるためである。そのため、森林域の HH-VV の相関係数は低い（ここに HH は送信と受信の偏波の組み合わせを表しており、最初の H は送信偏波が水平であること、続く H は受信偏波が水平であることを表している）。一方、裸地では、HH も VV も類似の散乱であり、HH と VV の相関係数は高い。より高周波の Cバンドや Xバンド^{*7}では電波の森林に対する透過性が小さいために、相関係数の差は見えないか、見えても小さい。よって、低周波のポラリメトリーは森林域内の地滑りや森林領域の抽出に適している⁶⁾。

図 5 は、JAXA の有する航空機搭載 SAR である Polarimetric Interferometric airborne SAR in L-band version 2 (Pi-SAR-L2) で取得したポラリメトリー画像を 4 種類に加

*4 <http://ja.wikipedia.org/wiki/阪神・淡路大震災>

*5 <http://ja.wikipedia.org/wiki/三宅島>

*6 [http://www.fdma.go.jp/bn/台風第12号による被害状況について\(第20報\).pdf](http://www.fdma.go.jp/bn/台風第12号による被害状況について(第20報).pdf)

*7 Xバンドは 8~12 GHz を有した周波数帯の略称であり、ドイツの衛星では 9.6 GHz が使用される。

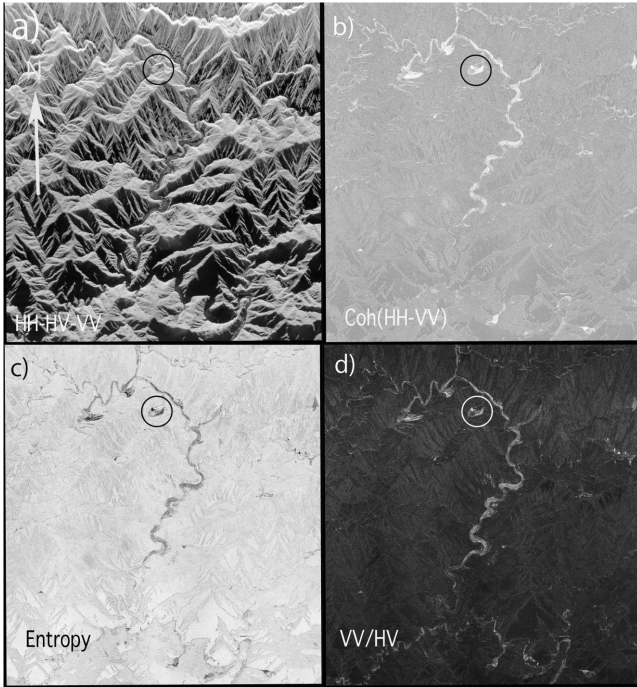


図5 十津川村の地滑り領域の a) Pi-SAR-L2の画像, b) HH-VV 相関係数, c) エントロピー, d) 画像の偏波間比率 VV/HV 画像の比較図。

工色付けしたものである。注目してほしいのは4枚の画像の中の白円あるいは黒円内の領域であり、ここは大きく地滑りした長殿地区である。a) は HH-HV-VV に赤、緑、青の色づけをしている（本稿では白黒印刷のためにカラー表示されていない）。b) は HH と VV の相関係数で土砂災害域と河川域が白く表示されている。c) は エントロピーを表示したもので、裸地は散乱状態が画一的であり、エントロピーは小さい。d) は VH/VV は前期と同様な情報を示している。ただ、これらの処理だけでは地滑り域（裸地）と川の近くの平地（砂地）も同様な傾向を示し、区別がつかないために、国土数値情報等を使用して傾斜地のみを抽出することなどが付加的な処理として必要となる。

3.4 山古志村土砂災害（変化抽出）

2004年10月23日の新潟県中越地震（マグニチュード6.8、震源は地表13km下）では、山古志村を中心に多くの被害が発生した。長岡市妙見町の信濃川沿いの道路では、魚沼市の母子3人が自動車とともに土砂に埋もれる被災を受けた（ほどなく救出された）。この事故では、大量の土砂が道路を覆ったが、その5か月後に復旧している。図6は地震後3日後にPi-SAR-Lで取得した画像である。道路は一般に暗く（舗装度はさらに暗く）見えるが、土砂が山積した場合、やや明るい土砂による道路の寸断が確認できる。周囲に比べて暗く見える道路の上に土砂が山積し、道路が途中で消えていることがわかる。

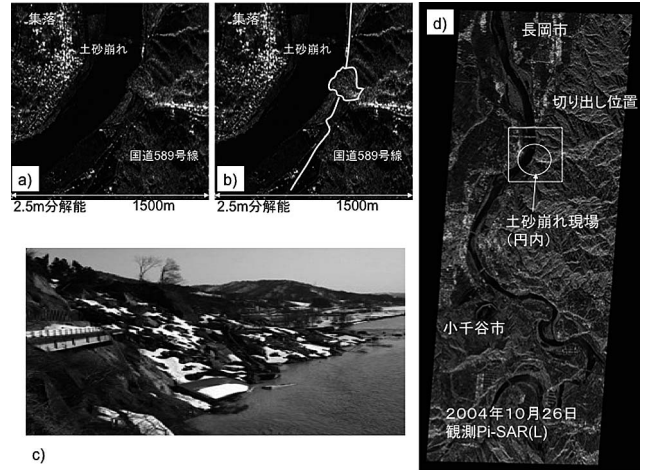


図6 土砂災害地域の画像。a) Pi-SAR-LのHH偏波画像で後述のd)内の矩形域を拡大したもの、b) 道路と土砂域をマスクしたもの（土砂が覆ったところと周りの区別を薄い黒の線で表示）、c) 被災地の地上写真、d) Pi-SAR-Lの全体画像。

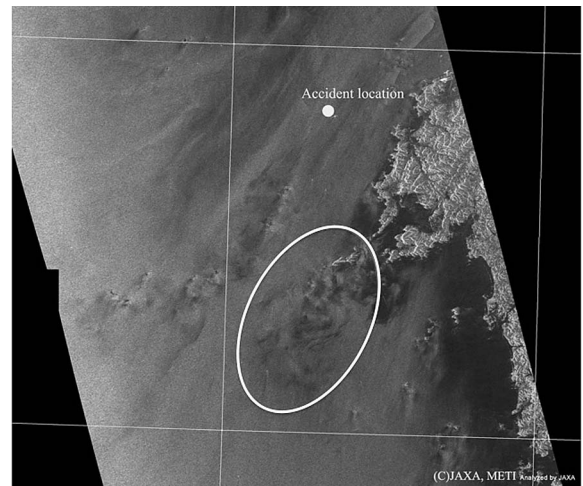


図7 韓国沿岸のタンカー座礁に伴う海洋油汚染。

3.5 韓国沖タンカー油汚染（ポラリメトリー）

タンカーの座礁に伴うオイルの流出は頻繁に起こっている。ここで紹介するのは、2007年に発生した韓国西岸のタンカー座礁事故と、それに伴うオイルの海上分布である。得られたデータはポラリメトリーデータである。海面は、風が凧いでもオイルが覆っても海面が滑らかになるため、レーダーの後方散乱は小さくなる。しかし、よくみると、オイルで覆われたほうがより滑らかになる傾向があり、SARデータのエンタロピー解析（ランダムネスの解析）により、油汚染領域は一般に大きなエンタロピーを示す。本例はHH-HV-VVをRGB合成したものである（本稿では白黒印刷している）。沿岸に沿ってオイルが分布すること（暗く見える領域）や、特に白線で表示した楕円内でランダムに暗い領域が分布することがわかる*8（図7）。

表2 ALOS-2/PALSAR-2の観測パラメーター。

緒 元		特 徴
衛星	重量	2 トン
	寿命	7 年
	位置決定	2 周波 GPS
軌道	高度と回帰日数	628 km, 14 日回期
	軌道保持範囲	基準軌道の周り 500 m 以内に常時保持する。そのため、6 か月ごとに軌道面変更, 2 週間に 1 回程度の軌道高度保持を行う。
PALSAR-2	周波数	Lバンド
	入射角	7~70 度
	観測方向	衛星進行方向左右
	偏波	HH-HV-VH-VV
	モードと分解能	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 m×3 m-25 km-SP (spotlight) ● 5 m×3 m-50 km-SP/DP-Strip mode ● 5 m×6 m-50 km-QP ● 5 m×10 m×70 km-DP-Strip mode ● 100 m×100 m×350 km (490 km)-DP-ScanSAR
	雑音レベル	PALSAR よりやや低い

SP: single polarization, DP: dual polarizations, QP: quad polarizations.

3.6 インダス川の冠水 (変化抽出)

洪水は災害事例の中では、土砂災害 (地滑り) 同様に頻度が高い。観測画像から洪水領域の抽出が求められる。パキスタン東部とインド西部にかけて、2010年7月末から降雨が継続し、国境を流れるインダス川周辺が冠水している状況が把握できそうである。冠水した陸域は SAR 画像には暗く映る (図 8^{*9})。このために、観測前のデータに赤、後のデータに緑、青を重ねると、冠水しているところは赤く見える。これは変化抽出手法のうちの振幅画像を使用するものである。SAR は地形の影響を受けるので、一般には、数値標高データを用いて地形 (勾配) 補正をした後に、オルソ投影をして GIS 面に投影し、異なる二時期の画像が合うように変換を施す。

3.7 火山噴火 (フィリピン) (干渉と変化抽出)

フィリピン・ルソン島東部に位置するマヨン火山は高さ 2463 m の成層火山であり、過去 17 世紀から 21 世紀までの 400 年に 50 回噴火している活火山である。つい最近では 2013 年に噴火があり、5 人の死傷者が出たばかりである。2009 年 12 月 14 日に火山活動が活発化し、同 20 日に溶岩の噴出が確認されている。火山噴火により、地形の変化、マグマの流出が生じる。地形の変化は火山内部のマグマの排出に伴って生じ、精密計測ができれば今後の火山活動や噴火に対する見通しを得ることが可能になる。図 9 は、マヨン火山の噴火に伴う SAR 画像の時間変化を示したもので、赤い筋が溶岩の噴出に伴い SAR 画像が暗く見え、噴

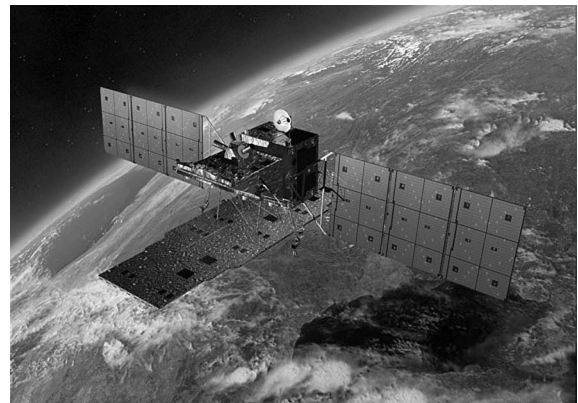


図 10 ALOS-2 外観図。

火前-噴火後の画像重ね合わせの結果赤く表現されたところである^{*10}。また、差分干渉画像では干渉性と位相変化量を示す。干渉性は二時期の画像の違いを明示的に示しており、噴火による火山灰の堆積や溶岩の流出により干渉性の劣化が筋状に現れている。また、位相変化画像では山の西側で隆起状の特徴がみられており、噴火と関係がありそうである。

4. ALOS-2 への期待と展望

2014 年に打ち上がる予定の ALOS-2 の衛星パラメーターを元に、災害への実用性について議論したい。まず衛星およびセンサーのパラメーターを表 2 に示す。また、図 10 に ALOS-2 を示す。左右対称系をした衛星であり、PALSAR-2

^{*8} http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_koreasea.htm

^{*9} http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_pakflood_100805.htm

^{*10} http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_mayon_100122.htm

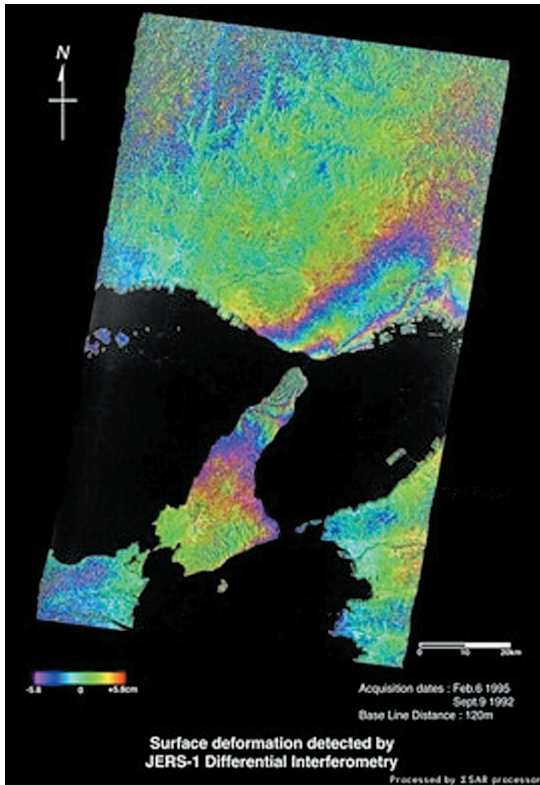


図3 阪神淡路大震災時の地殻変動量を JERS-1 SAR で抽出したもの。

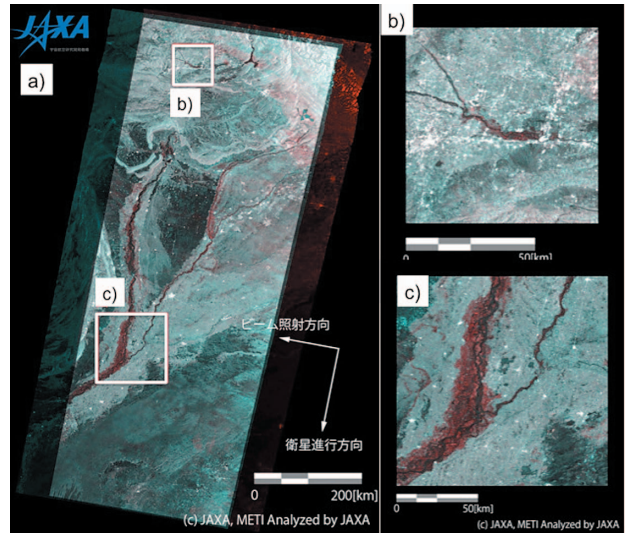


図8 2010年7月末のパキスタン大洪水に関わる被災の PALSAR 画像. a) 全体図, b) 北部地域の拡大図, c) 南部被災地域の拡大図.

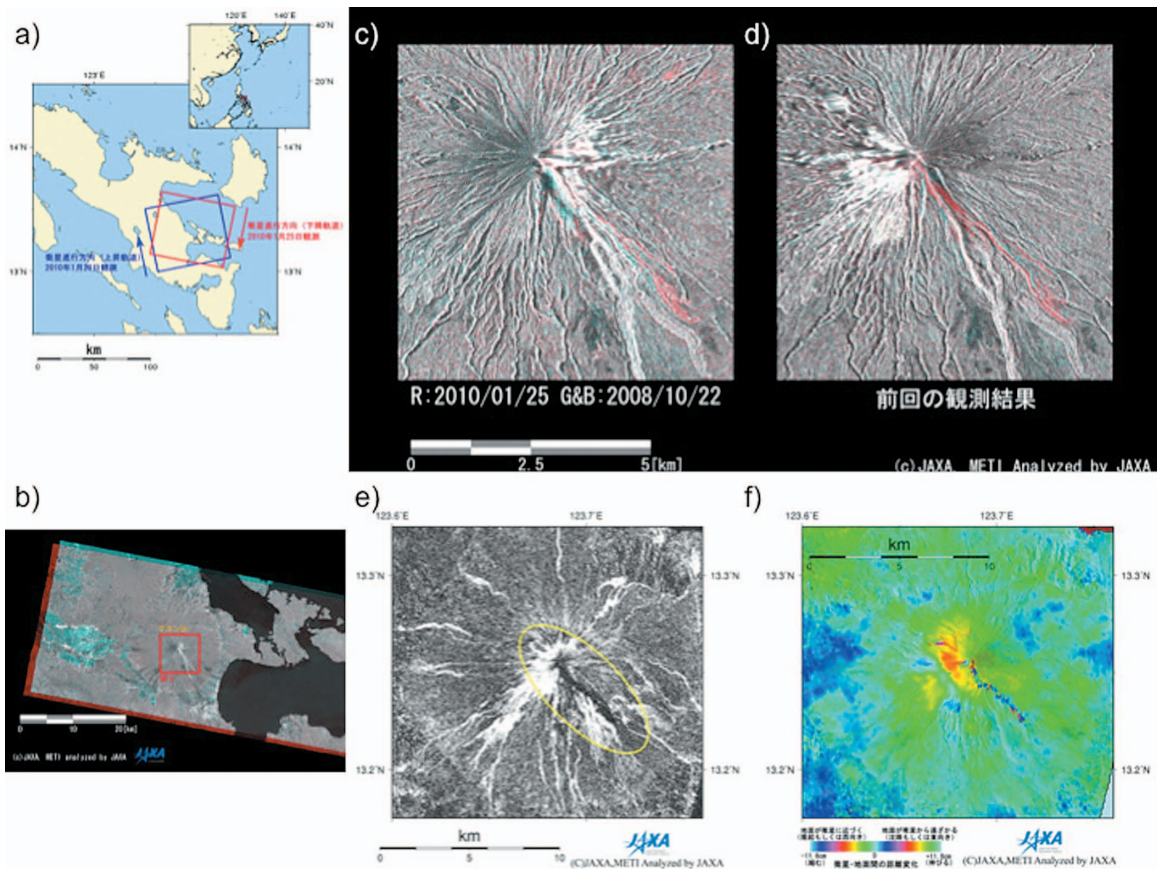


図9 マヨン山噴火に関連した PALSAR 画像. a) はマヨン火山の位置を, b) は PALSAR の画像を, c) は 2010年1月25日の画像と前回観測画像との変化を赤色で, d) は前回画像である 2008年10月22日の観測画像, e) 干渉性画像, f) 変位(位相差)画像を示す.

を搭載している。

PALSAR-2はおおむね5種類の観測モードで代表される。PALSARと比べて改善点を列記すると、1) 最高分解能が1 m×3 mまで改善される (PALSARは最高で5 m)、2) 偏波数は2以上ある (PALSARでは偏波数を増やすと分解能が減少した)、3) 左右観測可能 (PALSARは右観測)、4) 雑音レベルがより低い、5) 軌道保持を高頻度で行い干渉処理に長ける (PALSARは2.5 kmを保持範囲としていた)、等である。これらを以下で説明する。

4.1 観測能力の改善

分解能に関しては以下の通りである。レンジ分解能は帯域幅^{*11}の比率分だけ向上する。PALSARとPALSAR-2の最高分解能の比率をとると、84 [MHz]/28 [MHz]=3、つまりレンジ方向に3倍向上する。また、アジマス方向には、ストリップモードではアンテナの長さの比率になり、10/9=1.11倍劣化する。ここで、10はPALSAR-2のアンテナ長さ、9はPALSARのアンテナ長さである。

4.2 観測頻度の向上と時系列解析

観測頻度は衛星の回帰日数と観測範囲に依存する。PALSARは46日周期、右観測のみであったのが、ALOS-2では14日観測周期、左右観測が可能になっている。その点から、地球の任意の箇所の観測頻度が、ALOS/PALSARでは2.5日に1回観測であったのが、ALOS-2/PALSAR-2では日本に限定して、12時間に1回の観測が可能である。災害観測は変化抽出が重要な観測であり、基盤データをどのように収集するかが重要である。ALOS-2では打ち上げ直後から約1年強をかけて平時 (とおぼしき) の観測データを収集する。モードは3 mストリップである。災害発生後は、このデータを基準として同じ入射角のビームを使用して“事後”の観測を行う。得られた画像は、変化抽出 (干渉処理を含む) に使用される。事後のデータを得るまでの時間遅れは、平均で72時間、最大で76時間である。阪神淡路大震災の事例、雄山の山頂陥没、いずれも時系列解析である。もともと小さな変動を抽出するためには、同じ座標系で取得した2枚、あるいはそれ以上の画像を差分解析することで、効果的な情報を得る (変化抽出)。

4.3 偏波数の向上

過去の事例解析において、偏波が重要なことが明確になってきた。上の事例 (3.3節) でも、災害時に果たす異なる偏波間の相関や、複数の偏波を用いることで向上する災害との相関から、最低でもHH-HV、最高でHH-HV-VV

の3偏波が重要なことが明確になってきた。PALSAR-2では基本観測の運用モードとして、Spotlight/Strip-3mを除くすべてのモードについて2偏波以上を設定しており、これらが観測感度向上につながることを期待される。また、日本に関しては、年1回、QP (quad polarization) でくまなく観測して災害時に備えることとしている⁷⁾。

4.4 干渉性の向上

LバンドSARの特徴は、干渉性が他の高い周波数に対して高いことにある。特に、夏期に植生が繁茂する日本の陸地を良好な干渉性で観測するLバンドSARには、大きな期待が寄せられている。干渉性は、1) 軌道間隔、2) SARの雑音レベルが (相対的に) 低いことに関連する。PALSAR-2は軌道については、常時500 m程度に入れることができる。送信電力は高く、かつ雑音レベルは低いことから、PALSARよりもさらに良好な干渉性が期待できる。特にScanSARに至っては、ScanSAR-ScanSAR干渉を可能にする要因であるビーム間同期率を90%以上に高めることを目標としており、その観点から、ScanSAR-ScanSARも大幅に良好な干渉結果が期待でき、大規模災害時 (地震等) には広範囲の地殻変動画像が期待できる。また、干渉性の利用が期待できる分野として、山間部の微小な地滑り域の検出 (七五三掛地区の検出事例) 等が期待される。

4.5 全体的な期待

繰り返しになるが、ALOS-2はALOS/PALSARに比べて、分解能の向上、偏波数の増加 (ポラリメトリーの利用率向上)、観測頻度の向上、軌道保持の向上 (干渉性の向上)、雑音レベルの低下を性能向上の目途にして開発してきたものであり、災害時の被災地域の特定に関してはより高い精度が実現できるものと期待できる。洪水域、土砂災害、地殻変動、地滑り等は (一部を除き) 見た目の変化が小さく、いくら分解能が向上したところで、視認は困難である。それに対して、二時期の変化抽出は、位相差、振幅差 (明るさの違い)、位置の違いを明示でき、従来から効果的な手法として認識されている。ALOS-2は、より積極的にこの変化抽出が実施できることに主眼をおいて開発されており、感度調整の後に、より自動的な変化抽出と被災地域抽出が可能になるものと思われる。

現在は世界的にSARが増加傾向にあり、衛星、航空機を基本とした観測システムが構築されている。日本においても、ALOS-2、Pi-SAR-L2、Pi-SAR-2 (Xバンド)、その他

^{*11} 帯域幅とは信号に含まれる周波数の広がりのこと。例えばPALSARの帯域幅28 MHzとは、1284~1256 MHzの間に信号が含まれることであり、ほぼ均等な強さで分布する。

(各省庁, 研究機関で非常に多くの研究が実施されている) があり, いまや SAR は多くの可能性を秘めた機器として研究, 実用化, 実用がなされている. 基本は, 自身の信号を元に映像化すること (そのために, 全天候性) が大きな要因となり, いつでも観測可能という概念に到達している. また, 雲, 雨に関係なく地表面の観測が可能なることから, 悪天候下で発生する災害の観測に SAR は不可欠のセンサーとなっている. 本報告では, JERS-1/SAR, ALOS/PALSAR, Pi-SAR-L/L2 を用いた代表事例を紹介するとともに, ALOS-2 における期待を整理した. ALOS-2 は 2014 年の打ち上げが予定されており, 災害発生時には効果的な情報が得られるものと期待される.

文 献

- 1) B. Markham and D. Helder: "Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review," *Remote Sens.*

- Environ.*, **122** (2012) 30–40.
- 2) <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/cosmo/haihu15/siryoy15-3-4.pdf>
- 3) D. Massonnet, M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl and T. Rabaute: "The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry," *Nature*, **364** (1993) 138–142.
- 4) 島田政信: "合成開口レーダー処理", *測地学会誌*, **45** (1999) 277–281.
- 5) J. Curlander and R. McDonough: *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, Wiley Series in Remote Sensing and Image Processing* (Wiley-Interscience, 1991).
- 6) M. Shimada, M. Watanabe, N. Kawano, T. Motooka, M. Ohki and Y. Wada: "Detecting the mountainous landslide using SAR polarimetry: Comparative study using Pi-SAR-L2 and X-band SARs," *29th Int. Symposium on Space Technology and Science (ISTS)*, 2013-n-36 (2013).
- 7) S. Suzuki, Y. Kankaku and M. Shimada: "ALOS-2 acquisition strategy," *Proc. of IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium*, WE2.T11.5 (2013).

(2013 年 9 月 2 日受理)