

高解像度 SAR 画像を用いた福島第一原子力発電所の状況把握

千葉大学 正会員 ○リュウ ウェン, 非会員 水野 真靖, 正会員 山崎 文雄
 日本大学 非会員 野中 崇志, 株式会社パスコ 非会員 笹川 正

1. 目的

自然災害が頻発する日本では、災害発生時の迅速な状況把握が必要である。しかし、被害状況によって、道路閉塞や危険物漏洩などで現地調査が困難な場合も多い。そこで近年、広域を観測できるリモートセンシング技術が広く活用されている。

福島第一原子力発電所は、2011年東北地方太平洋沖地震後の巨大津波が原因で、原子炉が損傷し、甚大な放射能放出事故を起こした。災害発生4年後の現在でも事故対応作業が続いており、敷地内の立入が規制されている。このような立入が困難な地域における状況把握の手段として、合成開口レーダ(SAR)衛星の利用が考えられる。SARはセンサからマイクロ波を照射し、地表面からの反射を観測することで地上の状況を把握する。本研究では、高解像度の TerraSAR-X (TSX)衛星で観測された5時期の SAR 強度画像を用いて、福島第一原発における原子炉建屋の損傷・復旧作業状況の把握を試みる。SAR 特有の幾何学的歪み特性である倒れ込みとレーダ影の範囲における後方散乱係数の変化から、原子炉建屋の状況を分析するとともに、観測条件の違いによる影響について検討する。

2. 使用するデータ画像と対象地域

本研究では、分解能1mのSpotLightモードで撮影された2011年と2013年の5時期のTSX画像と、2011年09月16日に撮像された50cm分解能のGeoEye-1光学衛星画像を使用した。対象地域である福島第一原発周辺の画像を図1に示す。5時期のSAR画像の撮影条件を表1に示す。

表1 5時期のTerraSAR-X画像の観測条件(単位:度)

撮影日時	観測角	軌道方向	観測方向
2011/03/18	49.4	下降(188.8)	右
2011/03/22	41.7	上昇(344.9)	左
2011/03/23	36.2	下降(190.1)	右
2011/3/31	35.5	上昇(349.8)	右
2013/09/07	35.6	上昇(349.8)	右

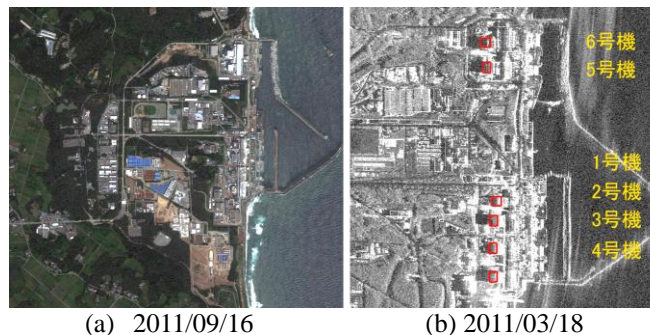


図1 本研究で使用した福島第一原発周辺を撮影したGeoEye-1画像(a)とTerraSAR-X強度画像(b)

3. 原子炉建屋輪郭と反射特性

SARセンサの斜め観測特性により建物が画像上に倒れ込み域とレーダ影域が生じる。著者らは2011年3月13日と9月5日に撮影された3m解像度のTSX強度画像を用いて、レーダ影域の変化から原発建屋の被害推定を行った¹⁾。原子炉建屋1, 3と4号機に被害があったことが判明したものの、解像度の影響で詳細な被害状況は観測できなかった。そこで本研究では、観測条件が異なる1m解像度のTSX画像を用いて、詳細な被害および復旧状況を把握する。

まず、GeoEye-1画像と東京電力や経済産業省の資料²⁾から、SAR画像における原子炉建屋の輪郭を作成した(図1b)。つぎに、衛星と構造物の位置関係を用いて、建物高さ H と観測角 θ から、SAR画像上の倒れ込み長さ L とレーダ影長さ L' を算出した。原子炉建屋とタービン建屋の配置関係で、レーダの入射方向によって異なる強度画像が得られる。東方向から(下降軌道の右観測と上昇軌道の左観測)と西方向から(上昇軌道の右観測)観測したときの後方散乱モデルを図2に示す。東方向から観測した場合、原子炉建屋の倒れ込み域がタービン建屋と重なり、複雑な反射パターンとなる。一方、レーダ影域が明確であるため、既往研究で被害判定に用いた。西方向から観測した場合、原子炉建屋の倒れ込み域が明確で、レーダ影域がタービン建屋の反射と重なる。

キーワード： 福島第一原子力発電所, 合成開口レーダ(SAR), 復旧状況把握

連絡先： 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学大学院工学研究科 TEL 043-290-3528

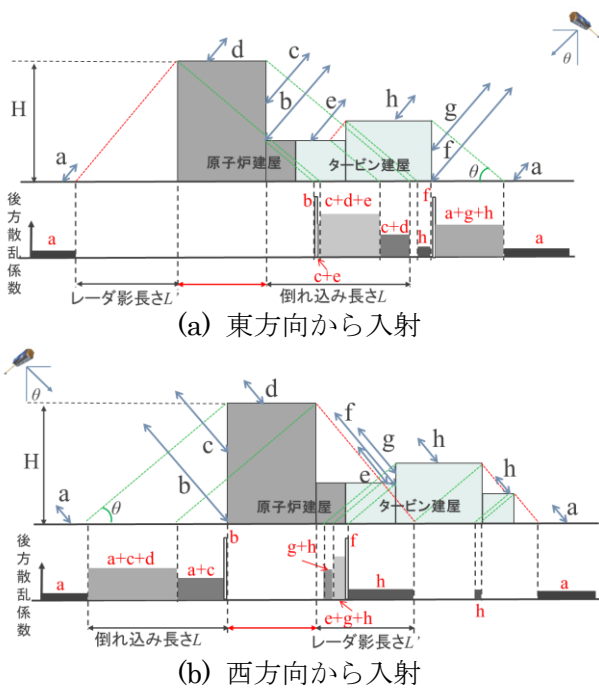


図2 原子炉・タービン建屋の断面および東方向(a)と西方向(b)から観測した SAR 画像の後方散乱特性

4. 建屋の被害および復旧状況の把握

原子炉建屋の復旧作業状況の把握には、損傷の見られる原子炉建屋 1-4 号機を対象とした。建屋が大きく損傷した 1 号機と外形にほとんど損傷がない 2 号機を例とし、SAR の後方散乱係数を図 3 示す。

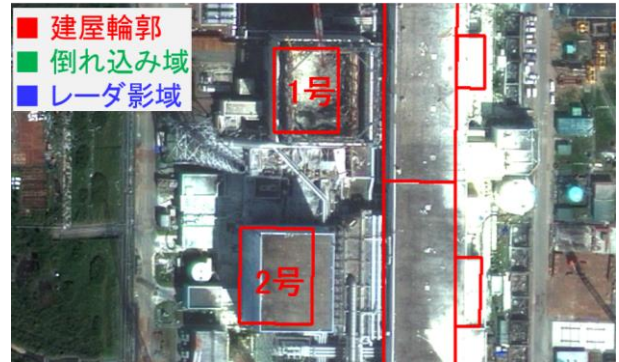
東方向から観測された 2011 年 3 月 18 日の画像では、原子炉建屋 1 号機の倒れ込み域内で、水素爆発により露出した鉄骨が鮮明に確認できた。また、同画像上における 2 号機の倒れ込み範囲と比べて、壁の損傷によりレーダの後方散乱強度が低下した。マイクロ波が鉄骨の間に透過したことで、1 号機のレーダ影域は 2 号機に比べて明るくなった。原子炉建屋の西側にある建物や地面にマイクロ波が到達して、それらからの反射によると考えられる。

西方向から観測した 2011 年 3 月 31 日と 2013 年 9 月 7 日の画像は同じ撮影条件であるため、カラー合成して図 3(c)に示す。3 月 31 日では 1 号機が損傷して鉄骨の状態であるが、倒れ込み域が西側にある建物の反射と重なり、強度画像から確認できなかった。しかし、建屋カバーが作られた 2013 年 9 月 7 日の画像に比べて、後方散乱が弱いことから壁が損傷したことが分かる。また、レーダ影域ではカバーがマイクロ波を遮断したことで、タービン建屋からの反射がなくなり、シアン色で表示された。ほとんど工事されなかった 2 号機と比較することで、1 号機の復旧

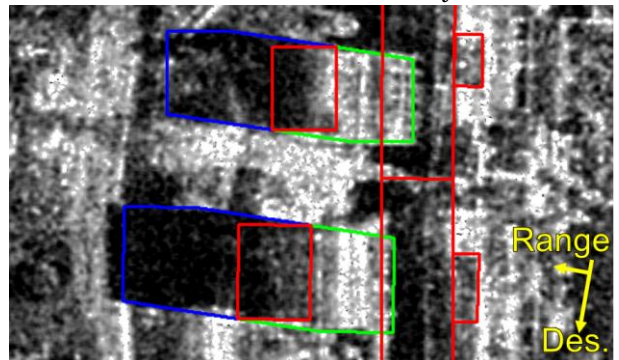
作業が進んでいることを確認できた。

5. まとめ

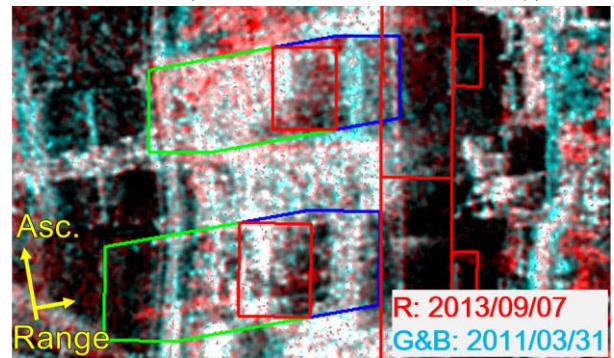
本研究では、撮影条件が異なる 5 時期の高解像度 TSX 画像より、福島第一原子力発電所における原子炉建屋の状況把握を試みた。SAR 後方散乱モデルを構築することで、観測方向による違いを明らかにした。1 号機の損傷し露出した鉄骨が、東方向からの観測で鮮明に確認できた。また撮影条件が同じである時系列画像により復旧作業の進展も確認できた。



(a) 2011 年 9 月 16 日の GeoEye-1 画像



(b) 2011 年 3 月 18 日の TSX 強度画像



(c) 2 時期 TSX 画像のカラー合成図

図3 1, 2 号機原子炉・タービン建屋の輪郭と 3 時期の SAR 画像における倒れ込み域とレーダ影域

参考文献

- 1) 岩崎洋志, 山崎文雄, リュウ・ウェン, 野中崇志, 笹川正: 高解像度衛星 SAR 画像を用いた建物側面の被害把握, 日本地震工学会論文集, 13(5), pp.1-15, 2013.
- 2) 経済産業省: [http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/back drop/pdf/app-chap04-3.pdf](http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/backdrop/pdf/app-chap04-3.pdf)