

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

11T0298W 水野 真靖
指導教員：山崎 文雄

1. はじめに

自然災害が頻繁に起こる日本では、災害発生時の迅速な状況把握が必要である。しかし、被害状況によっては道路閉塞や危険物流出などで、現地での状況調査が困難である場合も多い。そこで近年、観測対象物を遠隔から広域で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、東北地方太平洋沖地震による巨大津波が原因で、原子炉が損傷し、甚大な放射能放出事故を起こした。現在でも事故対応作業は続いており、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の状況把握手段の1つとして、合成開口レーダ (SAR) ¹⁾衛星の利用が考えられる。SAR は、照射したマイクロ波の地表面からの反射波を観測することで、その状況を把握するものである。本研究では、TerraSAR-X 衛星から観測された強度画像を用いることで、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。地震後に得られた5時期の高解像度 SAR 画像を使用し、SAR 特有の幾何学的歪みである、倒れこみ ²⁾とレーダ影 ²⁾の範囲と後方散乱係数の変化から、原子炉建屋の状況把握を行うとともに、観測条件の違いによる影響について検討する。

2. SAR データと対象地域

本研究では、分解能 1m の SpotLight モードにより福島第一原発周辺を観測した5時期の TerraSAR-X 画像と、2011/09/16 に撮像された GeoEye 光学衛星画像を使用した (図1)。SAR 画像は、下降軌道からの右側観測2枚 (2011/03/18, 2011/03/23), 下降軌道からの左側観測1枚 (2011/03/22), 上昇軌道からの右側観測2枚 (2011/03/31, 2013/09/07) であり、それらの詳細を表1に示す。

表1 5時期の TerraSAR-X 画像の観測条件 単位：度

撮像日時	観測角	軌道方向 (角)	観測方向
2011/3/18	49.4	下降 (188.8)	右
2011/3/22	41.7	上昇 (344.9)	左
2011/3/23	36.2	下降 (190.1)	右
2011/3/31	35.5	上昇 (349.8)	右
2013/9/7	35.6	上昇 (349.8)	右



(a) 2011/09/16 (GeoEye-1) (b) 2011/03/18 (TerraSAR-X)
図1 本研究で使用した福島第一原発を含む衛星画像

3. 建物輪郭の作成

倒れ込み領域とレーダ影領域は、GeoEye-画像と東京電力や経済産業省の資料 ³⁾から、建物輪郭を作成することで構築した。原子炉建屋1・3・4号機については爆発による損傷が激しく、目視による建物輪郭の作成が困難であったため、光学画像及び資料から輪郭を作成した。

図2より、衛星と構造物との位置関係において建物高さを H 、観測角を θ とした時、SAR 画像上への倒れ込み長さ L は式(1)で算出できる。

$$L = H / \tan \theta \quad (1)$$

建屋輪郭と倒れ込み長さより、5時期の SAR 画像において衛星軌道、マイクロ波の入射方向に適応させ、倒れこみ領域、レーダ影領域を作成した。図2は原子炉建屋と隣接するタービン建屋をモデルとした、後方散乱強度を示したものである。

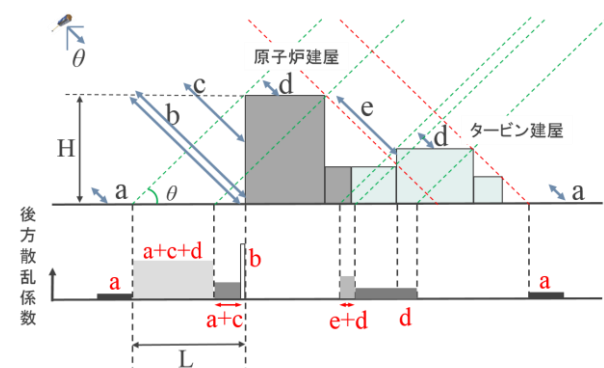


図2 原子・タービン建屋と後方散乱係数の関係

4. 健全な原子炉建屋における観測条件の影響

本研究では、まず健全な原子炉建屋を対象として、SAR 観測条件による SAR 画像の見え方の違いに関して、作成した倒れ込み領域とレーダ影領域より把握を試みた。また、この結果を踏まえて、爆発により損傷し、廃炉に向けた作業が進行している原子炉建屋の状況把握を同様の手法により試みた。

観測条件の違いによる SAR 画像の特徴把握は、損傷のみられない原子炉建屋 5・6 号機を対象とした。このうち 6 号機については、図 3 より、下降軌道の右側観測においては、倒れ込み領域、レーダ影領域ともに鮮明に確認できる結果となった。また、図 3 より、上昇軌道、下降軌道に関わらず、原子炉建屋の状況把握においては、西方向からのマイクロ波の照射時に確認が困難な結果となった。これは、原子炉建屋の東にタービン建屋等の構造物が位置するためであると考えられる。このように、SAR 画像を用いた構造物形状の把握において、マイクロ波照射方向によっては、隣接構造物の倒れ込みなどの影響で、把握が困難となることが明らかとなった。

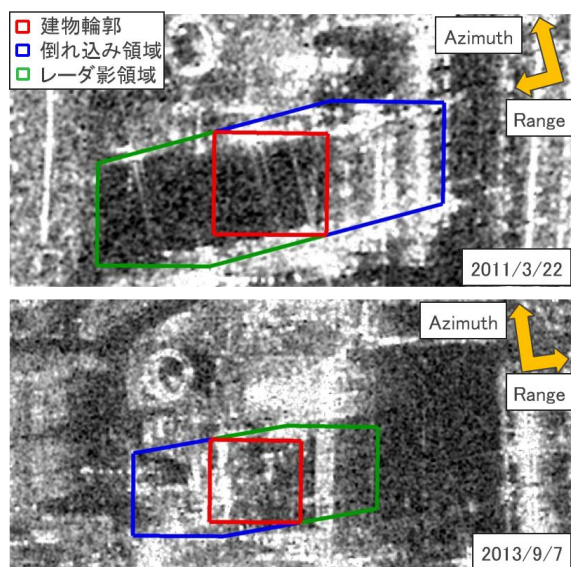


図 3 観測条件の違いによる 6 号機建屋の見え方

5. 被災建屋における復旧作業状況の把握

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。図 4 に、建屋の損傷が大きくみられた 1 号機について後方散乱係数を示す。原子炉建屋 1 号機の 2011/03/18 と 2013/09/07 の 2 時期の SAR 画像における倒れこみ領域、レーダ影領域の作成を行ったものである。図 4 より、約 2 年半の間に原子炉建屋の損傷した様子がみられなくなった。また、2013/09/07 の画像では、従来の倒れこみ領域よりも大きな倒れこみが確認できる。そのため、原子炉建屋 1 号機は、水素爆発による損傷後、

形状が変化した様子が確認できる。原子炉建屋 1 号機では、損傷し露出した鉄骨が鮮明に確認できるが、2013/09/17 の SAR 画像では、鉄骨は確認できず、新たに設置された建屋カバーの倒れこみが確認できる。そのため、高解像度 SAR 画像では、垂直方向からの光学画像では確認が困難な側面の損傷状況を確認することができ、時系列変化による構造物の変化も把握が可能といえる。

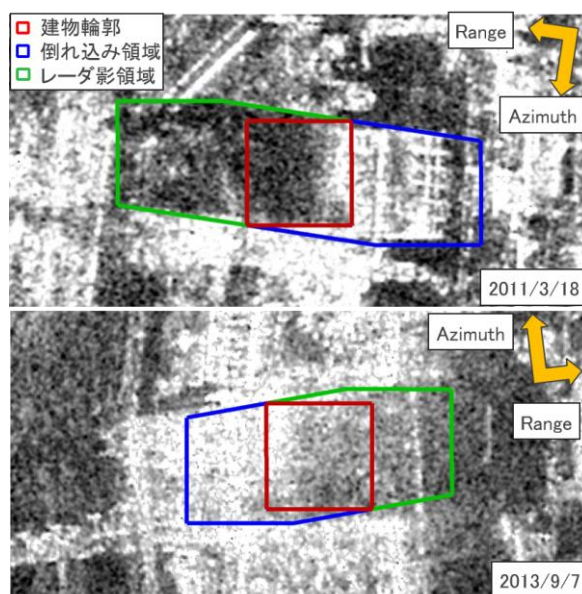


図 4 1 号機建屋における復旧作業の状況把握

5. まとめ

本研究では、5 時期の SAR 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と観測条件の違いによる影響の検討を試みた。隣接構造物等の影響より、マイクロ波が東方向からの照射時に状況把握が容易な結果となった。また、高解像度 SAR 画像により、損傷し露出した鉄骨が鮮明に確認でき、時系列変化による構造物の変化も確認できた。

原子炉建屋に限らず、高解像度 SAR 画像を用いた、震災後に新設された構造物、瓦礫の撤去作業等の状況把握が課題である。また、西方向からの照射時に状況把握が困難となった原因をシミュレーション等により、より詳細にするのが今後の課題である。

6. 参考文献

- 1) RESREC 一般財団法人リモート・センシング技術センター：リモートセンシング技術研修，SAR 基礎講座
- 2) Lorenzo, B., Carlo, M., and Francesca, B.: Damage Detection in Built-Up Areas Using SAR Images, Encyclopedia of Earthquake Engineering, pp. 1-30, 2014.
- 3) 経済産業省：<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/backdrop/pdf/app-chap04-3.pdf>