

第6章 新たな展開

6-1

人工衛星リモートセンシングによる地震被害把握

松岡昌志 MATSUOKA Masashi

正会員 博 (工学)

防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター 副チームリーダー

リモートセンシング

対象物に直接的には触れずに、何らかの方法で対象物に関する情報を収集・計測することをリモートセンシング（隔測）とよぶ。狭義では人工衛星や航空機などのプラットフォームに搭載されたセンサーによって、地表面の対象物の電磁波エネルギーを画像の形で記録し、その対象物の種類や状態を把握することを意味する。リモートセンシングは用いる電磁波の波長帯によって、大きくは光学センサーと電波センサーによる観測に分かれる。光学センサーは米国のランドサット衛星などに搭載され、可視光～赤外域における太陽光の地表での反射または放射輝度を観測する受動型のシステムである。複数の目（バンド）から豊富な情報が得られ、それらのバンドを赤色、緑色、青色（RGB）に割り当てることで、いわゆる写真に類似したカラー画像が得られる。一方、電波センサーには合成開口レーダー（SAR）がある。これはプラットフォームからマイクロ波を照射し、地表での反射（後方散乱）を計測する能動型システムであり、マイクロ波は電磁波の中でも波長が比較的に長いために昼夜を問わず、かつ、雲を透過して観測できる。得られる画像には地表の凹凸や誘電率に強く依存した物理量（後方散乱強度と位相）が記録され、グレースケール画像での表現が一般的である。

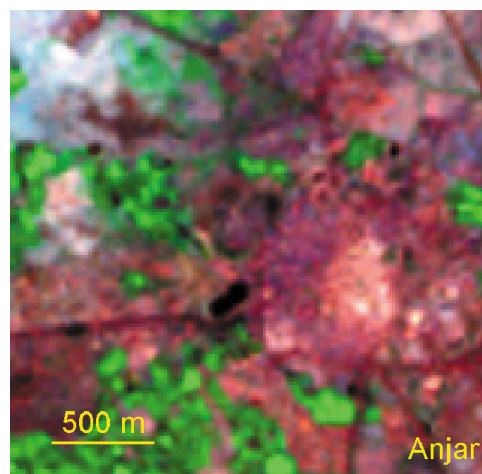
1972年のランドサット衛星の打ち上げ以来、現地調査が困難な地域や危険地域における状況把握にリモートセンシングが用いられ、地球環境モニタリング技術として定着してきた。自然災害のつめ跡（地表面の物性の急激な変化）が電磁波の反射/放射、後方散乱特性などに影響を与える程度のものであれば、これらの地域をリモートセンシングで検出できる可能性がある。

衛星画像から観たインド・グジャラート地震での被害

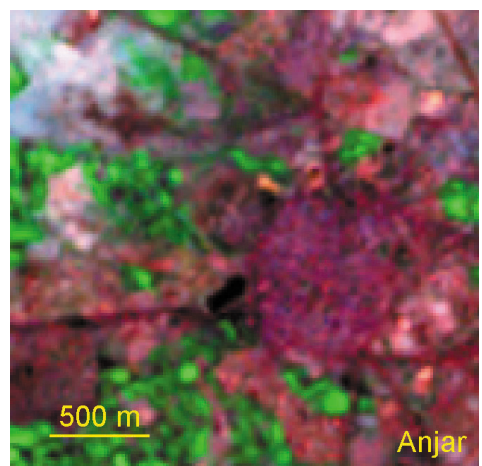
2001年1月26日にインド・グジャラート州西部のバチャウ付近を震源とした大地震が発生した。この地震に

よる被害地域は震源から約300 km離れたところにまで広がっており、これを地上踏査のみから把握することは容易ではない。そこで、被災地を観測した人工衛星の画像を概観し、被害地域の自動抽出の例を示す。

七つのマルチスペクトルバンド（分解能30 m）と一つのパンクロマティックバンド（可視～近赤外の波長帯を一つのバンドで観測したもの、分解能15 m）を持つランドサット衛星が地震の14日後の2月9日に被災地を観測した。約200 kmの観測範囲のうち、震源近くに位置するアンジャールという街の疑似カラー画像を図-1(a)に示す。疑似カラー画像とは実際に人間が視覚できない波長帯のバンドなどを任意の色に割り当てて作成したものである。図では青色域のバンド1、近赤外域のバンド4、中間赤外域のバンド5をRGBにそれぞれ割り当てている。植物の葉は近赤外域での反射が特に大きいため、この割り当てからは植物の緑が極端に強調され、市街地との区別が容易になる。地震前の画像（図-1(b)）と比べて、大きく異なる点は地震後の画像にはやや右に白っぽい（RGBのすべてで値が大きい）地域が分布し



(a) 地震後 (2001年2月9日)



(b) 地震前 (2001年1月8日)

図-1 アンジャールにおけるランドサット衛星の疑似カラー画像 (R: バンド1, G: バンド4, B: バンド5)

ていることである。この地域は航空写真や現地調査によると多数の建物が倒壊した範囲である。建物が倒壊して瓦礫化すると、特に近・中間赤外域での輝度値が高くなるが、兵庫県南部地震やトルコ・コジャエリ地震でも確認されている。

一方、地震前と比較して地震後に輝度値が減少することで判読できる被害もある。例えば、斜面崩壊によって植生がはぎ取られた地域や火災で焼失した地域、護岸沈下で水没した地域などである。図-2には例として、震源より北側に広がるラン・バンニ平原の画像を示す。地震前のパンクロマティックバンドをRに、地震後のバンドをGとBに割り当てて作成したカラー合成画像である。この合成処理からは地震後に輝度値が低下した地域が赤に発色する。図中には蛇行した線状の地域が見いだされる。この地域の一部では液状化が発生し、地表に泥水が噴出したことが確認されている。パンクロマティック画像では泥水は非常に暗く写る（反射がほとんどない）。したがって、地震後の画像で輝度値が減少した地域はこの泥水であると推定される。このように、現地調査では限られた地点でしか確認できない被害であっても、人工衛星の画像からはその全体像が容易に把握できる。

SARによる被害地域の判読にも、地震後に輝度（SARの場合は後方散乱強度）が低下することを利用する。一般的に建物群における後方散乱強度は大きい。これは、人工衛星から斜め下方に照射されたマイクロ波が地面と建物との間での複数反射によって、そのまま衛星に戻ってくるからである。ところが、建物の倒壊地域や空地に照射されたマイクロ波は多方向に散乱するため、衛星に戻る成分は小さい。したがって、地震後に強度が低下した（暗くなった）地域を被害地域として判読することになるが、SAR画像にはシステムに起因するゴマ状のノイズが必ず含まれるため、光学センサー画像のような簡単

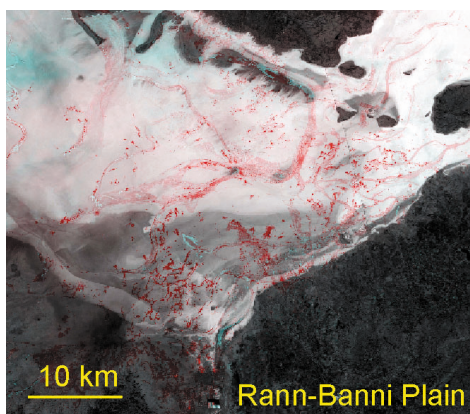


図-2 ラン・バンニ平原付近のランドサット衛星のカラー合成画像（R：地震前の画像，G，B：地震後の画像）

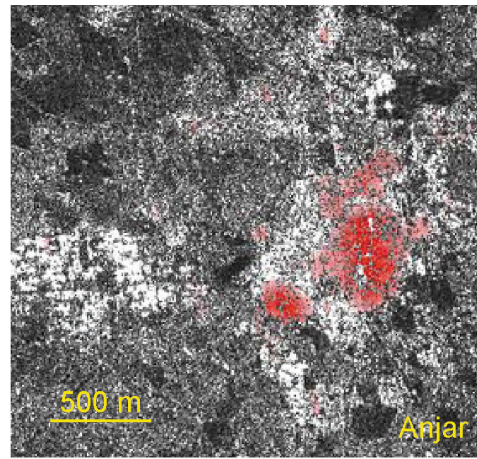


図-3 アンジャールにおけるレーダーサット衛星の地震前後のSAR画像から抽出された建物被害地域（赤色）

なカラー合成処理からは判読が難しい。すでに著者らは、兵庫県南部地震での建物被害調査データとSAR画像との比較から、被害地域の抽出に適切なノイズ除去法や画像処理の手順を明らかにしている¹⁾。その手順をインド・グジャラート地震の前後（1999年12月31日と2001年2月11日）に被災地を観測したカナダ航空宇宙局のレーダーサット衛星のSAR画像（分解能8m）に適用した。アンジャールにおける被害の抽出結果を図-3に示す。背景は地震前の強度画像であり、明るい地域は建物群、暗い地域は池や裸地、グレーの地域は植生域におおむね対応する。赤色で示す被害地域はランドサット画像から判読できる白色の地域（図-1(a)）とよく対応している。

以上のように、現在運行中の人工衛星を利用する限り、建物倒壊など地表面が著しく変化した地域がある程度の広がりをもった場合のみ検出できる。地上分解能やセンサー感度の問題から、軽微な被害までを精度よく抽出することは困難であり、誤った判読も若干見受けられる。しかし、リモートセンシングの最大の利点は被害地域の広域分布の取得であり、震度情報など他の情報との統合処理をすることで、緊急対応の意思決定支援に有用な空間情報を提供することも可能である²⁾。また、将来はセンサーの高分解能化が進み、かつ、複数衛星の相互利用によって観測頻度が高まることから、世界各地で多発する大規模災害の早期把握手段としての活用が期待できる。

参考文献

- 1- 松岡昌志・山崎文雄：スペックルノイズがSAR強度画像を利用した建物被害地域の判別に及ぼす影響，写真測量とリモートセンシング，2002
- 2- 能島暢呂・松岡昌志・杉戸真太・立石陽輝・金澤伸治：建物被災地推定の早期把握のための震度分布と人工衛星SAR強度画像の統合処理手法，地域安全学会論文集，2002