

# 人工衛星 SAR 画像を用いた浸水地域の抽出

## Detection of Flooded Areas using Satellite SAR Images

07TM0314 加藤 圭太  
Keita Kato

指導教員 山崎 文雄

### SYNOPSIS

Synthetic Aperture Radar (SAR) can observe the earth surface in daytime and night-time regardless of weather conditions. Hence it is highly useful to capture damage distributions shortly after natural disasters strike. Detection of flooded areas is carried out using ALOS/PALSAR images acquired before and after the 2008 Iwate-Miyagi earthquake. Because the backscattering echo of SAR shows the condition of the earth surface, the changes of the echo in two images are used to detect the areas covered by water and those dried up after the earthquake. Since many small noises are also extracted from the SAR images, an open-close-scale-filter is employed to remove them. The extracted results are compared with the visual detection results from ALOS/AVNIR-2 images and then the accuracy of the proposed method is verified. This method is further applied to extract the flooded areas caused by cyclone “Nargis”, which hit Myanmar in May 2008.

### 1. はじめに

大規模な災害が発生した際には、その被害規模や範囲を早期に把握することが、被害を防ぐために重要である。しかし現実には、台風の場合ように被害地域に近づけないような状況であったり、あるいは山奥や発展途上国のように、現場到達が非常に難しい場所であったりする。このような時には、災害発生前後の人工衛星画像を入手して、その情報を解析する手段が非常に有効であり、今後このような解析方法を確立することが重要であると考えられる<sup>1)</sup>。

しかし衛星画像も万能というわけではない。光学センサの場合、対象箇所には雲がかかっているため夜間の場合も撮影ができないし、太陽光に依存するため夜間の場合も撮影ができない。そこで現在注目を浴びているのが合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar: SAR) を用いた衛星画像である。SAR は、雲も透過するマイクロ波を地表に照射し、その反射波を観測して地表面の状況を把握するものである。この SAR 画像は天候や昼夜の時間帯に影響されない特徴があり、災害直後など緊急を要する時でも画像が得られやすい<sup>2)</sup>。また近年は解像度も高くなり、用途も多岐に広がっている。

このように SAR 画像は、緊急性が重要とされる災害把握においても有効なものと考えられるが、その中でもその特徴を生かした洪水や津波による浸水域の抽出は重要である。SAR 画像は、水面部分において反射強度が弱くなるという特性があり、これを生かすことでより正確な浸水域の推定が可能と考えられる。洪水や津波による浸水箇所は、時間が過ぎれば水が引いてしまうため、実際の浸水箇所の正確な判定がとても難しい。当然浸水している最中その場所に立ち入ることは危険であり、現地調査も難しい。しかし SAR 画像を用いることで、それを解決することが可能となる。

SAR 画像を用いた洪水地域の抽出は Sohn<sup>3)</sup> など多数行われている。また UNOSAT<sup>4)</sup> では SAR 画像を用いた様々な被

害マップを作成し、公開している。しかし SAR を搭載した人工衛星の一つである ALOS による PALSAR 画像からの浸水域の抽出の精度を評価する研究や、また強度画像の解析により水域の自動抽出を行おうとする研究は数少ない。

そこで本研究では、災害前後に得られた PALSAR 画像を用いて、浸水域の特性を把握しその自動抽出を試みる。浸水域の抽出には、2 時期の強度画像を比較することで、浸水した場所を抽出することが可能となる。ただし、より正確な水域の抽出を検討できるように、今回は調査範囲を洪水被害地域ではなく、2008 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震により地形が変化したダム地域、および季節によって水域に変化する水田地域とした。

本研究の検討の流れを図 1 に示す。はじめに、水域の後方散乱強度の特徴について検討を行う。まず人工衛星 ALOS の光学 (AVNIR-2) 画像と PALSAR 画像の位置合わせを行い、光学画像から水域の抽出を行う。そこから水域における SAR 後方散乱強度を調べ、その結果から水域の特性を把握し、その結果をもとに浸水域を自動抽出する方法を提案するとともに、抽出精度を評価する。

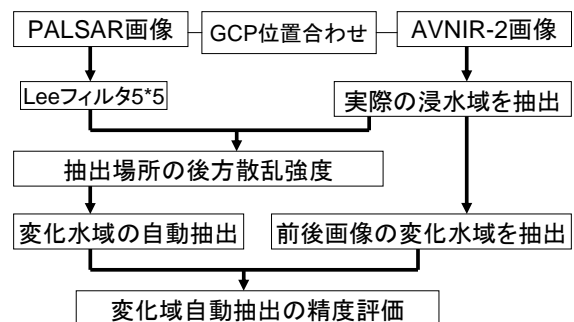


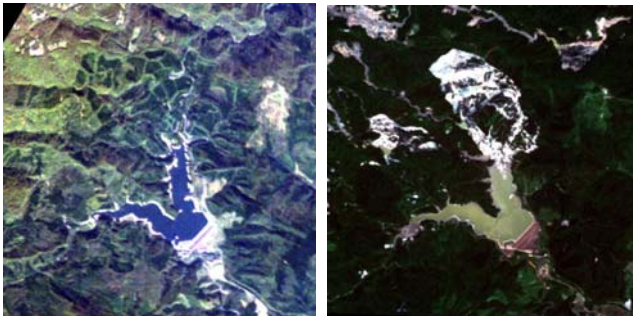
図 1. 本研究のフローチャート

## 2. PALSAR における水域の検討

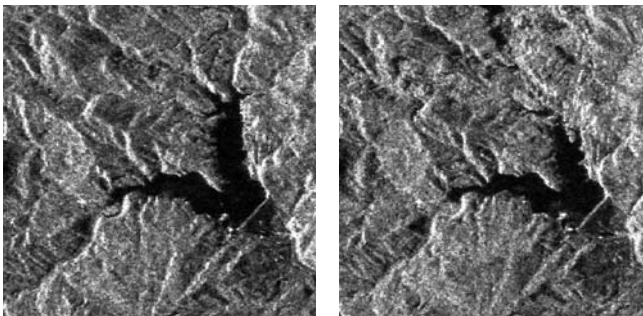
検討対象の SAR 画像としては、ALOS/PALSAR による 2008 年 3 月 23 日および 2008 年 6 月 23 日の岩手県南部、宮城県北部の内陸部を撮影したものを使用する。また、水域の抽出や精度の評価等に用いる光学センサ画像としては、ALOS/AVNIR-2 による 2006 年 10 月 17 日および 2008 年 7 月 2 日の画像(解像度約 10m/Pixel)を用いる(図 2)。

PALSAR は 2006 年に打上げられた ALOS 衛星(だいち)に搭載された合成開口レーダーで、観測方向を変更させる機能や、高分解能モード(幅 10m)に加え広域モード(幅 250~300km)で観測する機能などを有する。本研究では高分解能モードで撮影された画像(HH 偏波)を用いる。検討対象地域は、2008 年 6 月 14 日に岩手・宮城内陸地震が発生し、土砂崩れによって地形が変わった場所を含む。対象地域は地震前後の SAR 画像および光学センサ画像の 2 種類が揃うため、これらを利用して PALSAR 画像による浸水域の抽出精度を評価することができる。

抽出を行う前に、全ての画像で Triangulation 法による位置合わせを行い、あらゆる場所が他の画像の同じ場所と重なるようにした。またスペックルノイズを除去するために、PALSAR 画像に 5x5 の Lee フィルタを適用した。



AVNIR-2 画像 a) 2006 年 10 月 17 日 b) 2008 年 7 月 2 日



PALSAR 画像 a) 2008 年 3 月 23 日 b) 2008 年 6 月 23 日

図 2. 荒砥沢ダム周辺の地震前後の ALOS 画像

## 3. 水域の抽出

水域抽出の対象地域は、図 2 に示す①荒砥沢ダム周辺に加えて、図 3 に示す②栗駒ダム周辺、③東成瀬地区、④前沢地区、⑤水沢地区の計 5 箇所とした。①、②においては水域から陸域になった場所がある。①では岩手・宮城内陸地震において大規模な斜面崩壊が発生し、ダムの水域の一部が陸域に変わった。また②の栗駒ダムでは、地形の変化等は起こっていないが、地震後画像では土石流の流入を警戒して大きく水位を下げていたため、地震後画像では新たに露出した地表面が生じている。そのためこの 2 ヶ所に関しては、浸水場所ではなく逆に水が無くなった場所を抽出する。また、③、④、⑤では、地震前は水田の場所は乾いた状態であるが、地震後においては、水が張られていることが AVNIR-2 画像から確認できるため、浸水域の抽出が可能であると考えられる。



②栗駒ダム周辺

③東成瀬地区



④前沢地区



⑤水沢地区

図 3. 検討対象範囲の AVNIR-2 画像 (2008 年 7 月 2 日)

次にこれらの対象地域の水域の後方散乱強度を調べた。水域は、重ね合わせた AVNIR-2 画像より目視で抽出した。抽出した範囲の PALSAR 画像の各ピクセルの後方散乱強度を、荒砥沢ダムを例に図 4 に示すが、おおよそ 3000 以下に分布することがわかった。その他の検討範囲についても水域の後方散乱強度の分布を調べ、表 1 に一覧する。他の対象範囲でも同様に、水域の強度はおおよそ 3000 以下となったが、水田地域では若干強度が高くなる傾向もみられた。

全体では、後方散乱強度の 90% 累積値が 2460 以下となり、また 95% 累積値が 3550 以下となった。

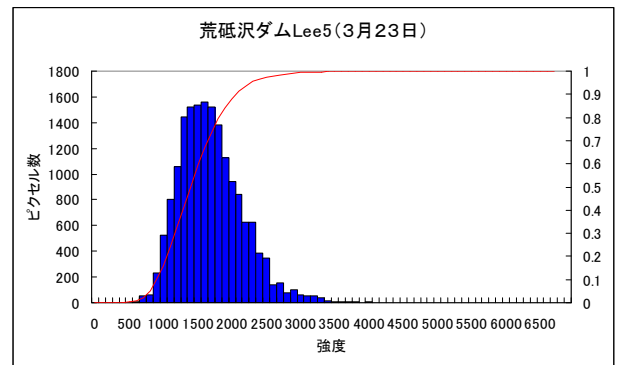


図 4. 荒砥沢ダムの水域における後方散乱強度分布

表 1. 各抽出箇所における水域強度分布

		Mean	Stdev.	累積90%	累積95%	Pixel数
荒砥沢ダム	事前	1752	468	2236	2465	16428
	事後	1666	492	2236	2460	14324
栗駒ダム	事前	1886	577	2263	2751	14618
	事後	1791	666	2481	2703	16511
東成瀬		1960	869	2717	3263	9975
前沢		1876	996	2654	3476	27831
水沢		2065	752	2624	3100	17705

次に、浸水地域の後方散乱強度が地震前後でどの程度変化したかを調べた。各浸水域の地震前画像のピクセル強度値から地震後画像のそれを差し引いたものを変化として計算した。後方散乱強度の変化に関して、荒砥沢ダムと東成瀬地区を例として図5に示す。このように、田に水が張られた箇所においては、強度が低下する傾向が見られる。逆に、荒砥沢ダムに関しては水域が陸域へと変化したため、強度が増加している。また全体での変化量は、90%累積値が330以上、95%累積値が104以上となることがわかった(表2)。

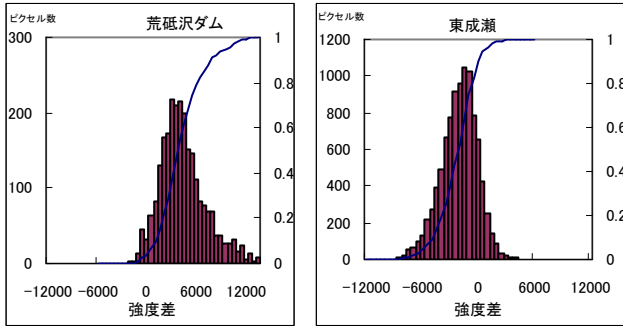


図5. 水沢地区の水田となった範囲の前後画像の強度差分布

表2. 各抽出箇所における変化域の強度差分布

	Mean	Stdev.	累積5%	累積10%	Pixel数
荒砥沢ダム	4805	3111	337	1455	9975
栗駒ダム	1204	1857	2	-245	3680
東成瀬	-2505	2025	-44	-302	9590
前沢	-1092	1785	-26	-347	27831
水沢	-2362	2060	-12	-228	18140

以上のような解析結果から、水域については水深によらず後方散乱強度がほぼ一定になり、また土域から水域へ、あるいはその逆へと変化した地域では、一定以上の後方散乱強度の変化があることがわかった。よって次の段階としてこの2つの特徴から、ある閾値を設定し、それを満たすピクセルを抽出する方法を考える。

#### 4. 変化域の自動抽出

水域および変化域の後方散乱強度分布から、変化域には特徴があると考え、2つの条件をともに満たす領域を変化域として抽出する。

条件A：水域を抽出するために、後方散乱強度が一定値以下のピクセル

条件B：変化域を抽出するために、前後画像の強度変化が一定値以上のピクセル

この2つの条件を両方とも満たすピクセルを抽出し、さらに抽出結果に対して、ノイズ等による微小領域の除去を行う。微小領域の除去には Open-Close-Scale フィルタ (Vu 他)<sup>5)</sup> を用いた。このフィルタは、図6に示すように、微小領域に対しては Opening-Filter を施して消去し、ある程度の大きさを持った領域に対しては、Closing-Filter を施して微小な孔を埋めることで、誤抽出を減らすことができる。

まず条件 A は全水域の90%以上を満たす浸水時の強度が2300以上のピクセル、条件 B を同じく全体の90%を満たす330以上の変化域を抽出するように設定し、各対象範囲で抽出した(図7)。

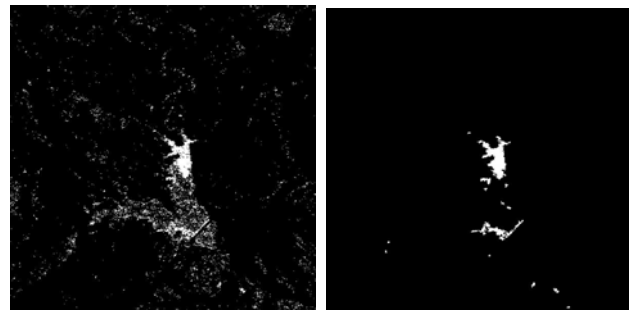
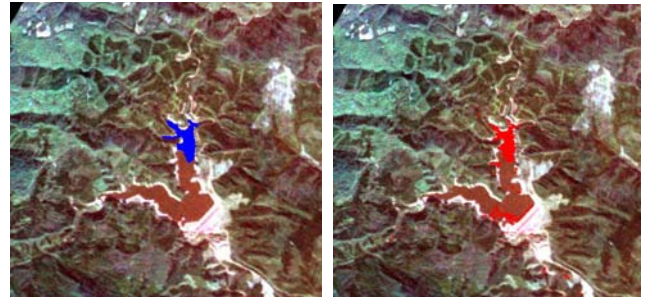
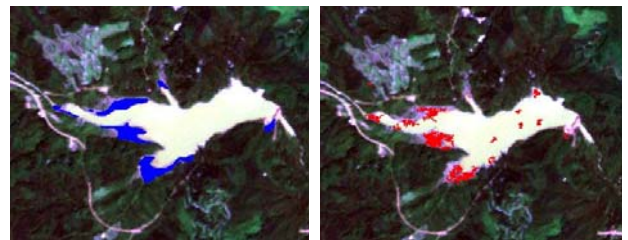


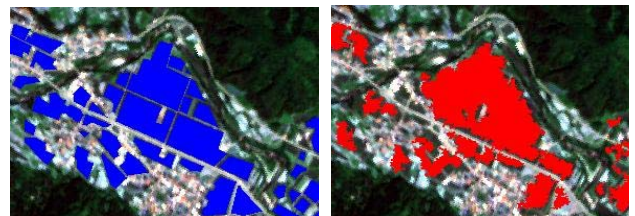
図6. Open-close-scale フィルタの適用前(左)と適用後(右)



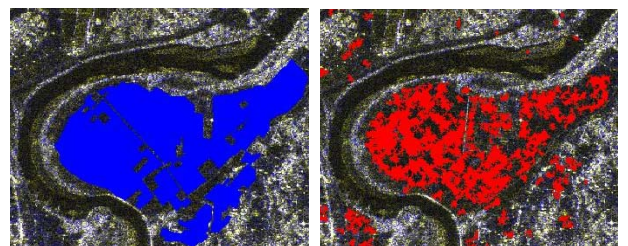
①荒砥沢ダム周辺



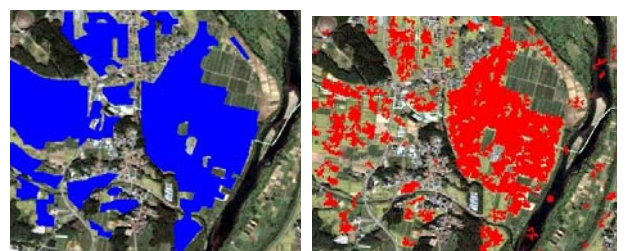
②栗駒ダム周辺



③東成瀬地区



④前沢地区



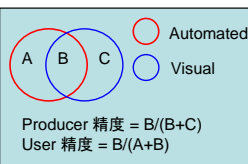
⑤水沢地区

図7. 浸水域の目視判読結果(左)と自動抽出結果(右)の比較

抽出結果を AVNIR-2 画像からの目視判読結果と照合したところ、全体では 50%以上の精度の抽出ができた。とくに荒砥沢ダムでは、Producer 精度で 60%以上の精度を得た。これは斜面崩壊によって地形が変わるとともに、水域が陸となったため、後方散乱強度が大きく変化したためと思われる。一方で水田ではそれほど精度が高くなかった。これは稲が成長して水面が隠れてしまったり、面積が小さい水域は、解像度の関係でミクセルとなったりしたと考えられる。また全体では Producer 精度は高く空振りは少ないが、User 精度が低く見逃された浸水域が多いことを示している(表 3)。

表 3. 各対象地域の精度

精度(%)	Producer	User
荒砥沢ダム	88.5	53.0
栗駒ダム	51.1	53.8
東成瀬	66.7	74.7
前沢	38.6	92.7
水沢	63.4	81.8



次に、抽出するための条件の設定を変えて、より高い精度の抽出ができるかどうかを調べた。4 章で設定した抽出条件 A では閾値を 2000~3500 に設定し、一方抽出条件 B でも閾値を 1~2000 でそれぞれ設定し解析を行った。

この方法で比較的精度が高かった荒砥沢ダム(表 4)を例に示す。結果を見ると抽出 A の閾値を上げるにつれ、User 精度の精度は上がるが Producer 精度の精度は下がり、誤抽出が増えてしまった。一方、2 画像の強度差から変化域を推定する条件である抽出 B の閾値を下げると、これも誤抽出が増えてしまった。

次に各条件での User 精度と Producer 精度の平均の比較を行った。荒砥沢ダムを例に図 8 に示すと、最も精度が良かったのは最初に設定した A の閾値を 2500、B を 1500 とした時だった(図 8)。ただしこの条件のときでも誤抽出の部分は発生した。この原因は事後画像のみで取水塔が PALSAR 画像に反射したため、強度差が生まれてしまったと思われる。このような場所は またこの他の対象地域でも同様に最も精度の良い条件を調べると、条件 A の水域抽出の閾値を下げ、条件 B の変化域抽出の閾値を上げる、つまり荒砥沢ダムの場合より抽出条件を緩めた方が、抽出精度が上がった。

表 4. 荒砥沢ダムの様々な条件での抽出精度

精度(%)	水域の強度<2000		水域の強度<2500		水域の強度<3000	
	Producer	User	Producer	User	Producer	User
強度差>1000	62.5	93.2	79.4	84.8	84.4	78.1
強度差>1500	58.6	97.6	75.1	90.2	80.4	82.3
強度差>2000	53.1	98.2	69.5	91.7	74.1	85.9

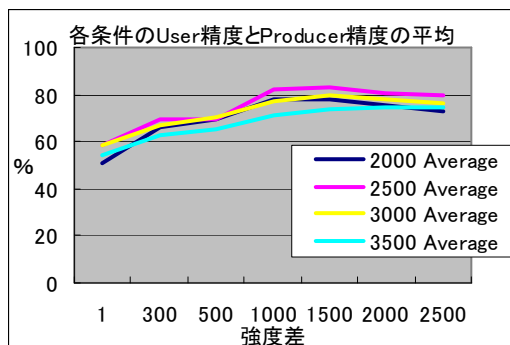


図 8. User 精度と Producer 精度の平均の比較

## 5. ミャンマー・サイクロンによる被害地域への適用

2008 年 5 月上旬に大型サイクロン”Nargis”による高潮被害に見舞われたミャンマー西部の沿岸域地域に対して、本研究で用いた抽出手法を適用し、浸水域の抽出を試みた。この地域は海拔がほぼ 0m のため、大規模な被害を受けたが、現場へのアクセスが難しく正確な浸水域はわからない。そこでこの地域に対し、本研究で考案した手法により、PALSAR 画像から浸水域の抽出を試みた。PALSAR 画像としては、被害から 2 日後の 2008 年 5 月 7 日のもの(解像度 6.25m/Pixel)を用いた。また比較には、図 9 に示す UNOSAT による MODIS 画像(2008 年 5 月 6 日撮影、解像度 250m/Pixel)から抽出した推定浸水域を用いた。これらを比べると、元画像の解像度が大きく異なるために正確な評価はできないが、おおよそ正しい水域の抽出ができたと考えられる。

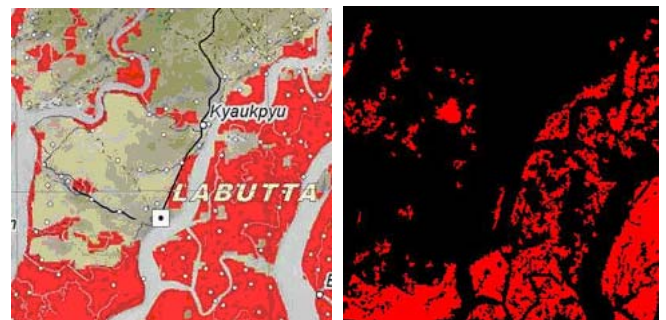


図 9. ミャンマー沿岸部の推定浸水域(赤い部分)  
(左) UNOSAT による推定域、(右) 本研究による抽出結果

## 6. まとめ

本研究では、台風などの災害による浸水地域を把握することを目的として、2 時期の SAR 画像を用いた浸水域の抽出に関して検討を行った。2008 年岩手・宮城内陸地震により、ダム湖が減少ないし増加した領域と、地震後画像において水田に水が張られた地区に着目して、後方散乱強度の値と変化を調べた。また、衛星光学センサ画像を用いて、SAR 強度画像からの水域抽出結果の精度を検討した。その結果、概ね良好な結果を得ることができたが、閾値によっては見逃しや空振りのエラーも見られ、今後さらに多くの事例解析によりこの方法の検証を重ねる必要がある。また閾値の見直しや、Open-Close-Scale-Filter の改良などにより、今後、さらなる精度の向上を目指したいと考えている。

## 参考文献

- 1) 松岡昌志, 山崎文雄: ALOS/PALSAR による 2006 年 5 月ジャワ島中部地震の被害抽出, 第 41 回リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp. 47-48, 2006.
- 2) 野口真弓: 陸域観測技術衛星「だいち」データの防災分野における有効性, 国土地理院時報, 111 集, pp. 2-4, 2007.
- 3) Sohn H.G., Song Y.S., and Kim G.H., Detecting Water Area During Flood Event from SAR Image, ICCSA 2005, LNCS 3481, pp. 771 - 780, 2005.
- 4) UNOSAT, URL: <http://unosat.web>
- 5) Vu T. T., Matsuoka M., and Yamazaki F., Detection and Animation of Damage Using Very High Resolution Satellite Image Following the 2003 Bam, Iran, Earthquake. *Earthquake Spectra*, Vol.21, No. S1, pp. S319-S327, 2005.