

SAR 衛星を活用した浸水検知事例

株式会社日水コン 松本幹太

本稿では、SAR 衛星を活用した浸水検知手法と活用事例を紹介する。SAR 衛星は曇天時や夜間でも観測可能で、観測対象の後方散乱係数の低下を利用し浸水域を検知する。欧州宇宙機関 (ESA) の Sentinel-1 のデータを活用した過去災害の浸水検知事例や、Synspective Inc. の小型 SAR 衛星 StriX のデータを活用した即時の浸水検知事例を示し、有効性を確認した。今後は衛星コンステレーション構築により、よりリアルタイムに近い観測が進み、災害対応支援への更なる貢献が期待される。

Key Words : SAR 衛星、浸水検知

1. はじめに

1.1. 背景

全国的に豪雨が頻発している中、地方公共団体では雨水管理総合計画等を立案し浸水対策を行っている。これらの計画立案を補助するコンサルタントの立場から、より正確な浸水実績を把握することで精度の高い支援ができると考える。浸水実績は住民からの通報等により、点の情報として記録することが多い。そこで、広範囲に地上の様子を観測できる SAR 衛星を用いた浸水検知が有効となる。

筆者は、検知結果の視認性を高めるべく、SAR 衛星を用いた一般的な浸水検知手法を改良した。本稿では、同手法の詳細と、実際の水害を対象とした浸水検知事例を紹介する。

1.2. SAR 衛星とは

SAR とは Synthetic Aperture Radar (合成開口レーダー) の略語である。通常、レーダーによる観測において、精度を高めるためには、アンテナの大きさ (= 開口) が重要となる。しかし、人工衛星に巨大なアンテナを搭載するのは困難であるため、SAR 衛星では、衛星に搭載可能な規模のアンテナで送受信したデータを処理し、あたかも大きなアンテナで一度に観測したように、開口を合成 (図 1) することで、高精度な観測結果を得ている。

また、SAR 衛星は、地球に向かって自ら照射したマイクロ波の反射を観測するため、観測結果の画像の見た目は、太陽光 (可視光) の反射等を観測する光学衛星のカラー画像とは異なり、後方散乱係数 (マイクロ波の反射強度) の高低を示した白黒画像となる (図 2)。

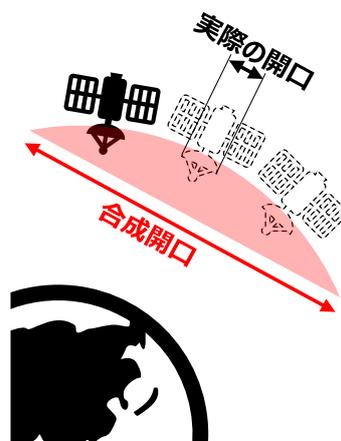


図 1 合成開口の模式図

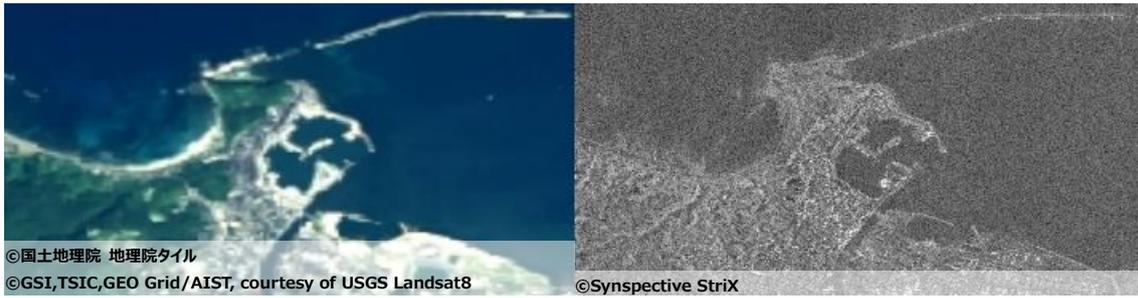


図 2 左:光学衛星、右:SAR 衛星

単に白黒画像を見るだけでは、光学衛星と比べて情報量が少ないように感じられるが、可視光より波長の長いマイクロ波の性質上、雲を透過するため、曇りの日でも地上を観測できること、自ら照射するマイクロ波を観測するため、光源が不要（夜間でも観測可能）であること等、浸水検知においては大きなメリットがある（図 3）。

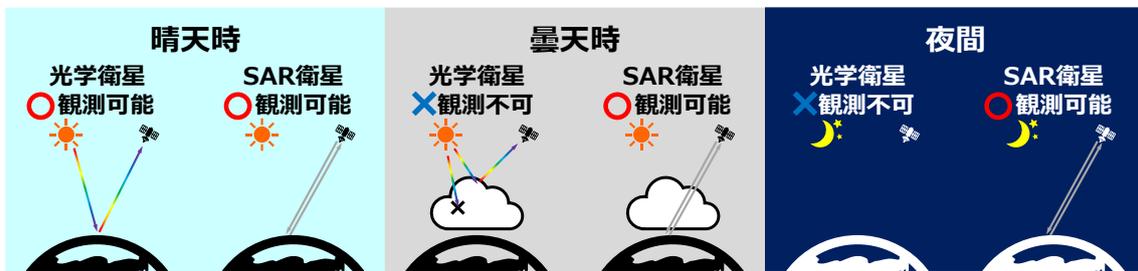


図 3 状況による各衛星の観測可否

2. 浸水検知手法

2.1. マイクロ波の反射特性

マイクロ波には先述の雲を透過する性質以外に、平滑な面では鏡面反射し、粗い面では散乱反射するという特性がある（図 4）。

水面では照射したマイクロ波が衛星に返ってこないため、後方散乱

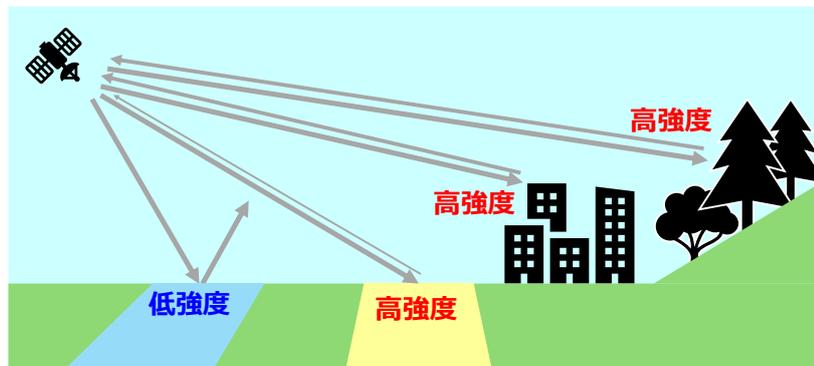


図 4 マイクロ波の反射特性

係数が低く観測され、画像では黒く映る。反対に建物や森林では照射したマイクロ波の一部が衛星に返ってくるため、後方散乱係数が高く観測され、画像では白く映る。

2.2. 浸水検知の基本的な考え方

SAR 衛星を活用した浸水検知では、平常時と水害時の 2 時期の撮像データを用いて、後方散乱係数を比較する。平常時に水面でなかった箇所が、水害時に浸水することによって水面になると、後方散乱係数が低下することを利用し、浸水域を抽出する。

図 5 の中央図が平常時の撮像データ、右図が水害時の撮像データであるが、赤枠で囲っているような箇所それぞれ、後方散乱係数の低下（画像上黒く変わって見える箇所）が確認できる。

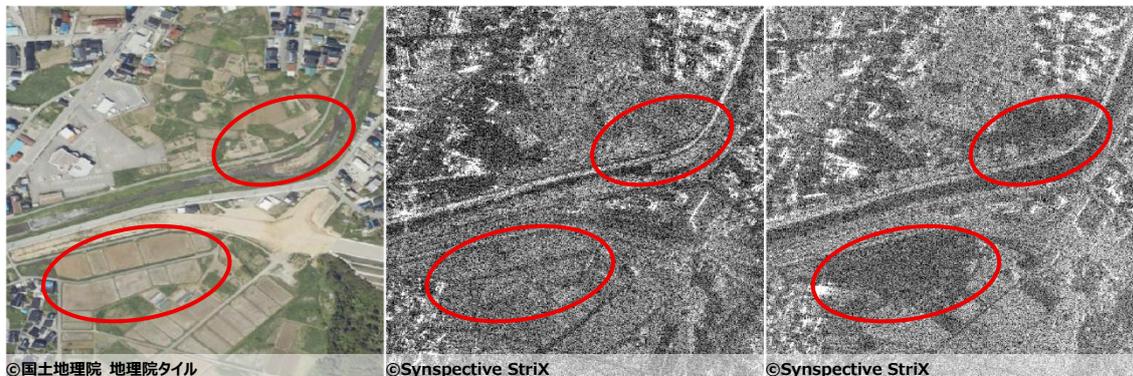


図 5 左:航空写真, 中央:平常時 SAR 画像, 右:水害時 SAR 画像

2.3. 視覚化の工夫

図 5 のように、2 時期の後方散乱係数を見比べるだけでも、ある程度の浸水検知は可能であるが、浸水範囲をよりわかりやすくするために視覚化の工夫を施す。

まず、2 時期の SAR 画像を重ね合わせて、RGB カラー合成を行う。この際、R（赤）に平常時の SAR 画像を、G・B（緑・青）に水害時の SAR 画像の後方散乱係数をそれぞれ割り当てることで、図 6 の左図のような画像となる。

この RGB カラー合成画像において、赤く見える箇所は、平常時の後方散乱係数は高く、水害時の後方散乱係数は低い箇所であるため、浸水範囲として捉えることができる。

背景となる航空写真等と重ねて表示するため、RGB カラー合成画像から浸水範囲だけを表示しようとした際、後方散乱係数が低下しているピクセルを単純に抽出すると、図 6 の中央図に水色で示しているように、無作為に点描したような画像になってしまう。

この課題を解決するため、画像解析で頻繁に用いられる畳み込み処理を応用し、後方散乱係数が密集して低下している箇所のみを抽出する手法を構築した。本手法を適用すると、図 6 の右図に示すように、農地や砂州の冠水状況がわかりやすく表示できている。



図 6 左:RGB カラー合成、中央:後方散乱係数低下ピクセル、右:畳み込み処理適用後

3. 浸水検知事例

3.1. 過去の浸水検知

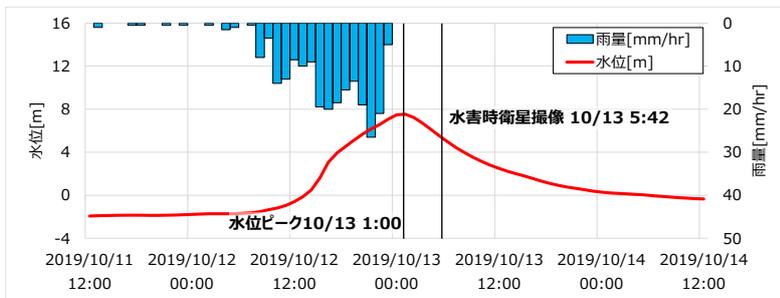
先述の手法を用いた事例として、令和元年東日本台風（台風第 19 号）によって、群馬県の利根川水系休泊川流域に発生した浸水検知の例を紹介する。

浸水検知に使用した SAR 衛星は、アーカイブデータ（撮像履歴）がオープンデータとして公開されている、欧州宇宙機関（ESA）の Sentinel-1 を採用した。

浸水検知に使用した衛星データの諸元を表 1 に、水害発生時の利根川水位と雨量を図 7 に、浸水検知結果を図 8 に示す。浸水検知結果と実際の浸水範囲を比較すると、休泊川最下流部に位置する利根制水門や休泊川排水機場付近の浸水、スバル大泉工場遊水池における滞水状況等を良好に捉えられた。一方、中流部に位置する富士堰付近の浸水は捉えることができなかった。これは、衛星の撮像タイミングが浸水ピークより 5 時間程度遅れているため、浸水継続時間の短い箇所の水が既に排水されていたことが原因であると考えられる。

表 1 衛星データ諸元

撮像タイミング	撮像日時	衛星名	撮像モード	オフナディア角	衛星進行方向	電波照射方向
平常時	2019/09/25 05:43:24	Sentinel-1A	IW	39.05°	Descending	Right
水害時	2019/10/13 05:42:48	Sentinel-1B	IW	38.99°	Descending	Right



※水位は利根川古戸水位観測所（国土交通省）、雨量は館林地域気象観測所（気象庁）

図 7 水害発生時の水位・雨量

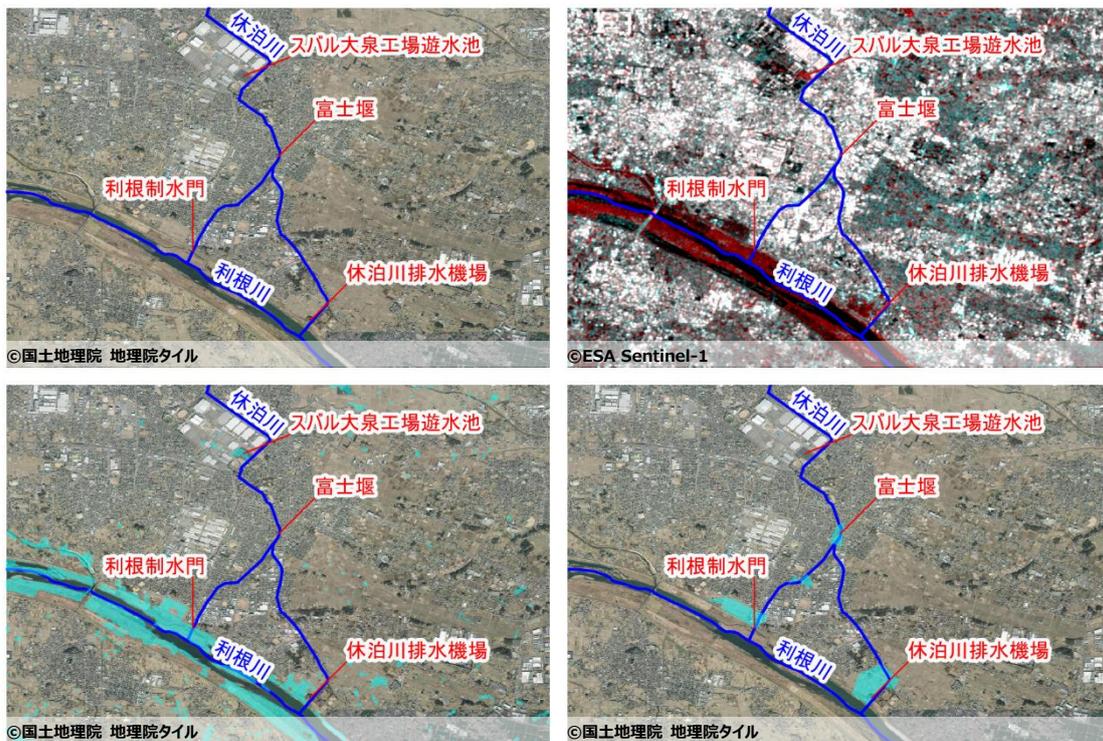


図 8 左上：航空写真、右上：RGB カラー合成、左下：浸水検知結果、右下：実際の浸水範囲

3.2. 即時の浸水検知

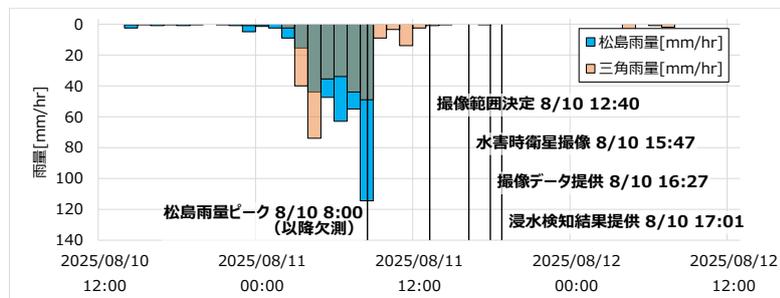
Sentinel-1 は 2 機体制（同軌道）で運用されており、任意の箇所を撮像する間隔は、通常概ね 6 日である。「3.1. 過去の浸水検知」の例では、偶然、水害発生と Sentinel-1 撮像のタイミングが一致したため、浸水検知を行うことができたが、大雨の予報が出てから、任意の箇所を即時に撮像し、浸水検知を行うことは困難である。

そこで有用となるのが、運用基数が多く、撮像頻度が高い小型 SAR 衛星である。小型 SAR 衛星を製造・運用している国内企業である Synspective Inc. の衛星 StriX を用いた浸水検知の事例を紹介する。StriX は 2025 年 9 月時点で 6 機（複数軌道）打ち上げられており、撮像範囲を決定してから数時間以内に撮像を始めることが可能である。

熊本県で多くの被害が発生した令和 7 年 8 月 10 日からの大雨において、浸水検知に使用した衛星データの諸元を表 2 に、水害発生時の雨量とタイムラインを図 9 に、浸水検知結果を図 10 に示す。

表 2 衛星データ諸元

撮像タイミング	撮像日時	衛星名	撮像モード	オフナディア角	衛星進行方向	電波照射方向
平常時	2023/06/13 21:44:39	StriX-β	Stripmap	43.0°	Ascending	Right
水害時	2025/08/11 15:47:24	StriX-3	Stripmap	43.6°	Ascending	Right



※雨量は最近傍の松島地域気象観測所（水色）を掲載しているが、ピーク以降欠測のため、補足として、次点近傍の三角地域気象観測所（透明橙）を掲載（気象庁）
 ※水位は近傍に連続的に観測している観測所が存在しないため掲載せず。

図 9 水害発生時の雨量・タイムライン

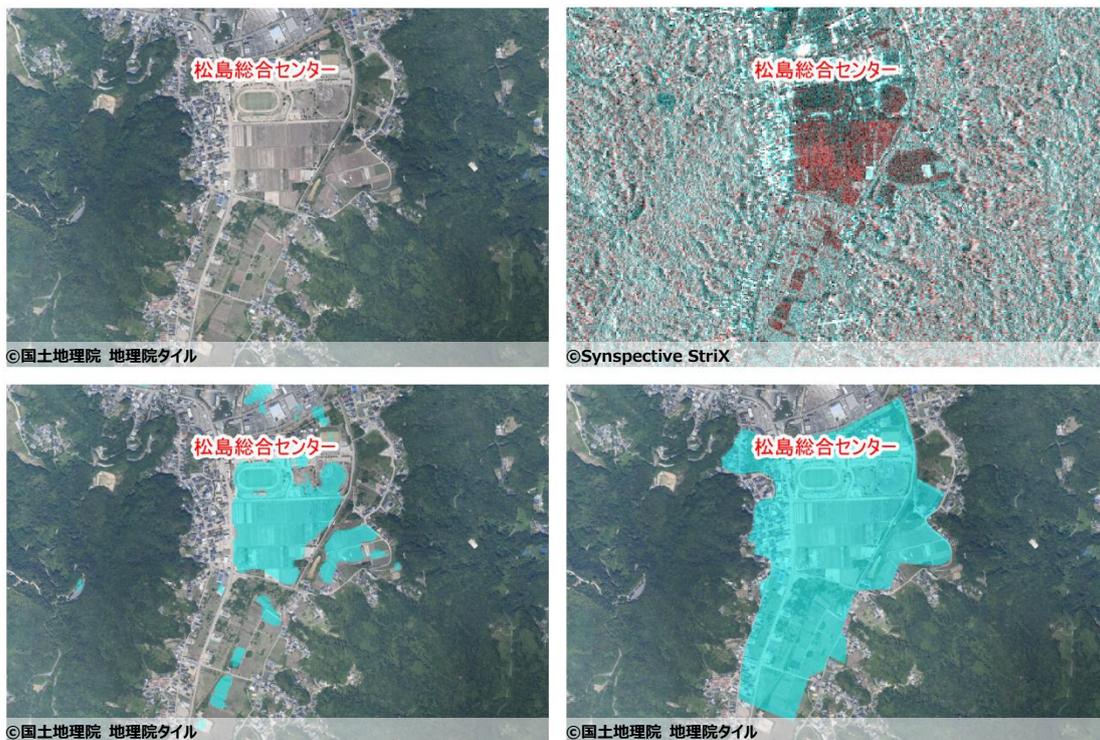


図 10 左上:航空写真、右上:RGB カラー合成、左下:浸水検知結果、右下:実際の浸水範囲

この大雨では、熊本県上天草市において観測史上最大の 1 時間降水量 123.0mm(～8:09)を観測し、松島総合センターという指定避難所の施設にも被害が発生した。ピーク付近の実際の浸水範囲より縮小しているものの、周囲の浸水を検知できていることがわかる。

また、本事例では、浸水検知結果だけでなく、タイムラインにも着目したい。撮像範囲の決定(12:40)から約 3 時間後に撮像(15:47)を行い、その 40 分後には撮像データを提供(16:27)、更に約 30 分後に浸水検知結果を提供(17:01)した(図 9)。対象範囲を決定してから 4 時間半弱で、浸水検知結果を提供することができた。

StriXは今後も継続して新たな衛星が打ち上げられ、2030 年までに合計 30 機以上の衛星コンステレーション(連携した多数個の人工衛星の一群)が構築される予定である。衛星コンステレーション構築後は、よりリアルタイムに近い観測が可能(毎時撮像可能)となるため、浸水ピーク時の状況も捉えやすくなり、更に迅速で有意な浸水検知が可能になる。

なお、本稿では実際に大きな浸水被害が発生した場所に着目したが、SAR 衛星の撮像範囲は、ドローンや測量用航空機と比べて非常に大きい(図 11 の画像(StriX)だと約 20km×約 70km)ため、一度に広範囲の浸水検知を行うことも可能である。

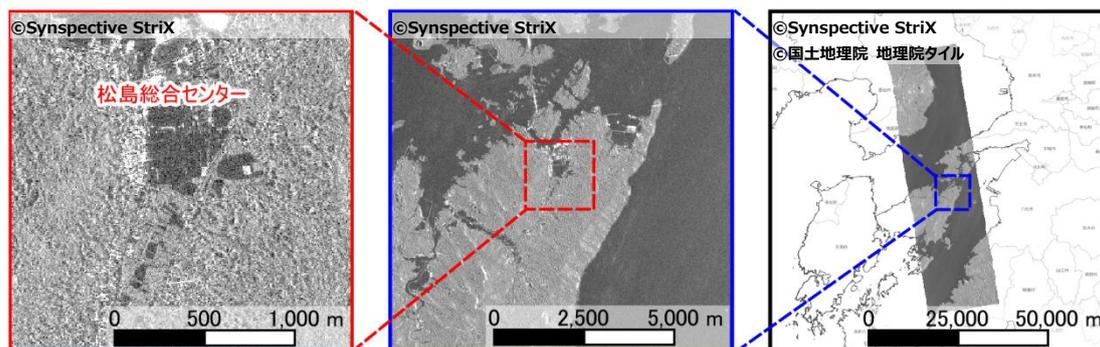


図 11 StriX の撮像範囲

4. おわりに

本稿では、SAR 衛星データを活用した浸水検知の事例を紹介し、衛星コンステレーション構築という今後の発展性についても触れた。今後とも継続的に解析精度の向上や迅速化に努め、国や自治体等の迅速な意思決定支援、地域社会の安全・安心の確保に貢献したい。

なお、本稿中の StriX 撮像データは、内閣府で実施する「令和 6 年度・令和 7 年度小型 SAR 衛星コンステレーションの利用拡大に向けた実証」から提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

出典

- ・ 図 2、5、6、10、11 SAR 衛星画像：Synspective StriX データ (STRIX3-20240517T182359Z-SL, STRIX3-20240921T181446Z-SL, STRIX_202306-00025_20230613T124439_SM, STRIX_202508-00362_20250811T064724_SM) を筆者が現像処理
- ・ 図 8 SAR 衛星画像：ESA Sentinel-1 データ (S1A_IW_GRDH_1SDV_20190924T204324_20190924T204349_029168_034FDF_D9DC, S1B_IW_GRDH_1SDV_20191012T204248_20191012T204313_018447_022C0C_53C5) を筆者が現像処理
- ・ 図 2、5、6、8、10、11 背景地図：国土地理院 地理院タイルを背景図として使用
- ・ 図 8 実際の浸水範囲：令和 6 年 2 月 6 日休泊川流域水害対策協議会資料を基に筆者が範囲再現
- ・ 図 10 実際の浸水範囲：天草広域連合消防本部撮影ドローン映像を基に筆者が範囲再現