

衛星画像を活用した 大規模・広域災害の被害状況把握

2009年2月25日(水)

民間技術交流会

於 名古屋港湾空港技術調査事務所

- 中部地方整備局BCP(事業継続計画)(H20.3)
 - 東海地震を始めとする大規模地震
 - スーパー伊勢湾台風による高潮
- 東海地震
 - 広範囲に及ぶ震度6強以上の揺れ、3m以上の津波、液状化
 - 津波による沿岸施設被害・孤立化、低平地の施設被害・交通阻害、堤防・水門損壊による浸水被害
- 被災状況把握における広域性・確実性
 - 衛星搭載型SAR(合成開口レーダ)の活用

1. TerraSAR-Xとは

- 光学衛星とSAR衛星の違い
- TerraSAR-Xの基本諸元
- TerraSAR-X地上局と国内でのサービス概要

2. 港湾・沿岸域分野への適用

- 事例(海洋交通、油流出事故、港湾・空港施設)

3. 災害情報提供システム

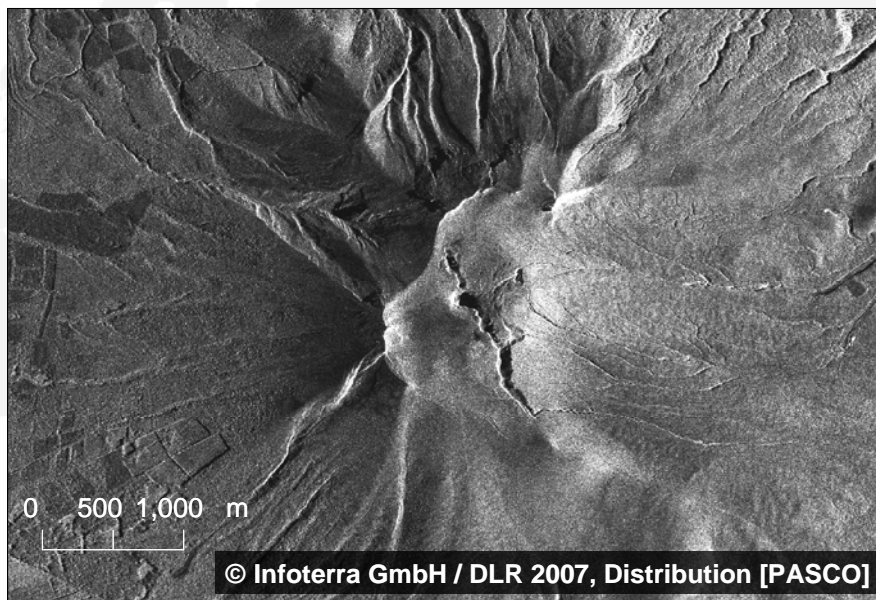
- TerraSAR-Xを活用した災害情報提供の概要
- 緊急撮影事例(四川大地震、岩手・宮城内陸地震、三河地方水害)

4. まとめ

光学衛星とSAR衛星画像の比較

リモートセンシングには、主に**光**、**マイクロ波**を利用する2つのセンサがある。

マイクロ波の最大の利点は、雲を透過する。⇒**全天候で観測できる。**



■ SARの特徴

- ・撮影効率が高い(光学衛星の18倍): 雲や雨の影響を受けにくい
- ・水域、海面の特徴検出、船の検出 : 平滑な水面ではマイクロ波は鏡面散乱する
- ・後方散乱強度の違いによって変化領域を抽出
- ・偏波によってテクスチャー(形状)を判別、干渉波計測で高さや変動量がわかる



TerraSAR-Xを活用した 災害情報提供システム

株式会社パスコ

【合成開口レーダ (TerraSAR-X) 衛星を活用】

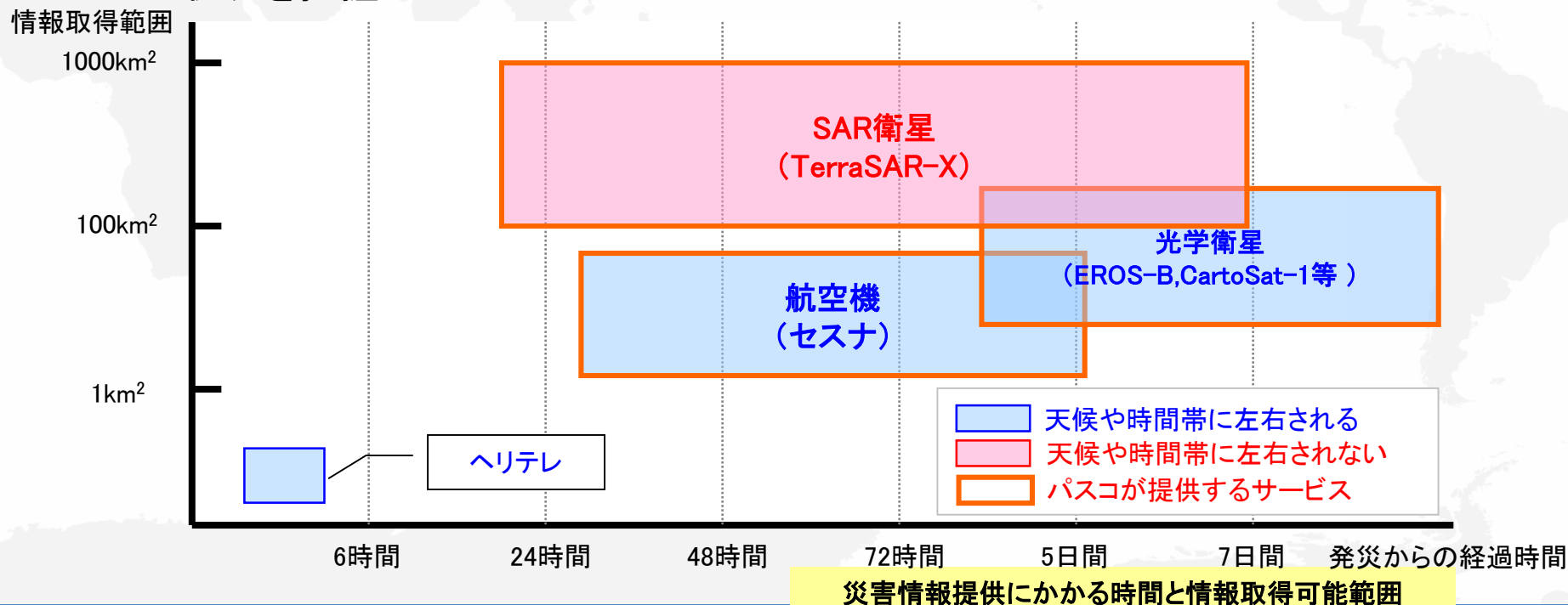
安定的に情報収集可能なTerraSAR-X衛星を活用し、雲などを透過できるマイクロ波によって天候や昼夜に左右されずに情報収集

【複数の情報取得手段を選択】

天候状況や時間帯に応じて航空写真、SAR衛星、光学衛星を用いた最も早い手段で被災状況を観測

【発災後の定期モニタリング】

災害後も定期的にモニタリング調査を実施し、二次災害の防止や復旧・復興作業の状況を把握



TerraSAR-Xを活用した情報提供の概要

平常時

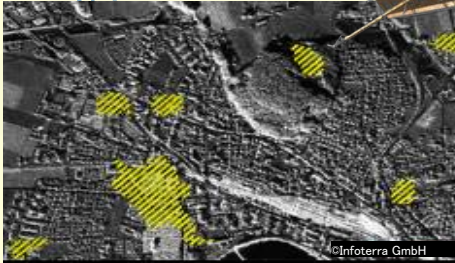


■ 平常時のデータの整備

- TerraSAR-X衛星により対象地域の全域画像を取得し、災害時に備えた参照データの整備
- 背景としての光学画像や地図データを整備

災害発生時

24時間※～



被害箇所位置図
(GISデータ、出力図)

12時間※～



被害状況写真
(密着写真、写真出力図)

災害発生



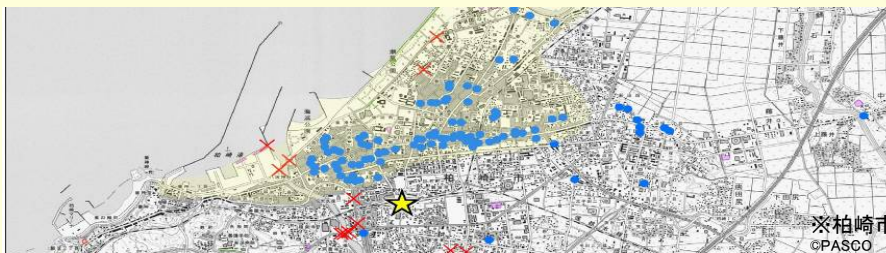
■ 被災状況の把握

最適な手段を用いた被災状況把握

- 被害箇所位置図(広域) 18時間※～
(TerraSAR-X衛星、光学衛星)
 - ✓被災箇所の位置を把握
 - ✓災害規模の状況を把握
- 被災状況写真(航空機 被災地) 36時間※～
 - ✓被災箇所の状況を詳細に把握

復旧・復興時

4日後※～



被害状況図 (GISデータ、出力図)

■ 定期的に被災地域をモニタリングし、二次的な災害発生箇所を把握

- 定期モニタリングにより二次災害発生箇所を抽出

■ 復旧・復興の効果モニタリング

- 復旧工事の状況を把握

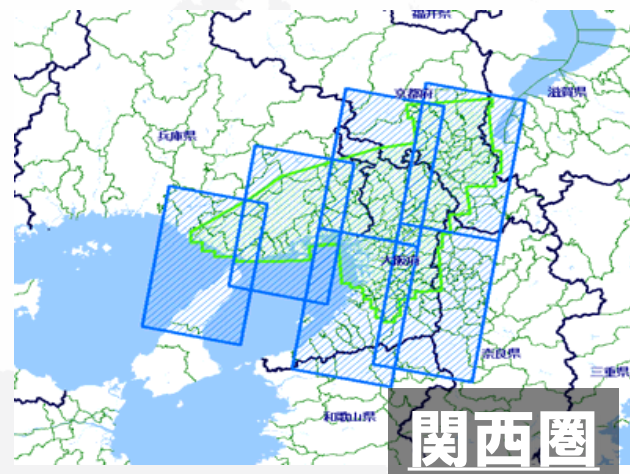
※ 最良条件下での情報提供時間となります。

衛星を使い国土のモニタリングを開始

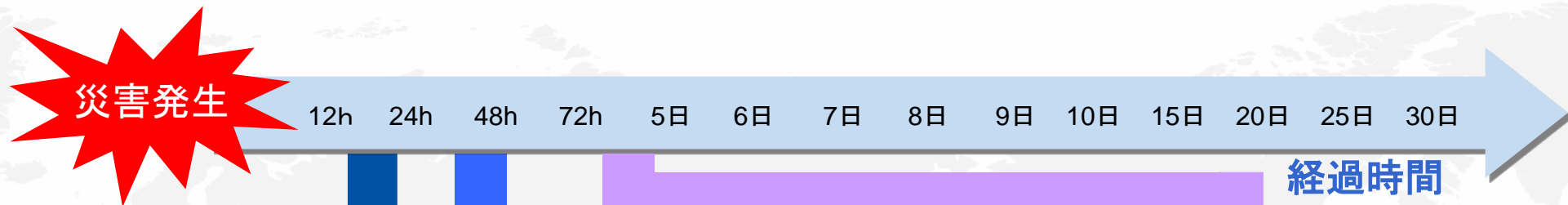


- 株式会社パスコは、日本国内において発生が切迫性が指摘される首都圏、中部圏、関西圏、仙台市の4エリアの衛星撮影を行い平常時の地形情報の初期整備に着手
- この事前情報と災害発生時の緊急撮影情報との比較を行い被災状況の迅速な把握と提供
- 平常時の定期的な撮影により、重要施設周辺の地形変動をモニタリングし、国、地方自治体や企業に対し地形変動の情報を提供

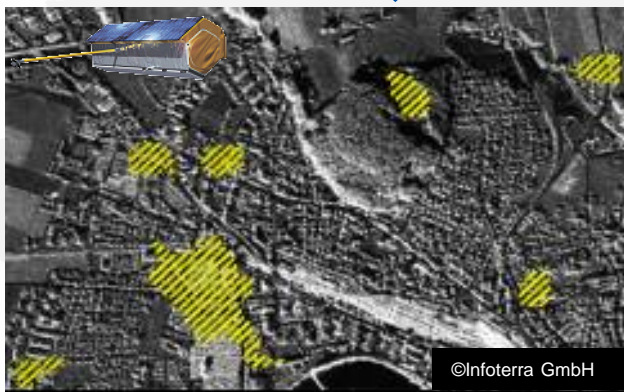
2008年8月15日 報道発表



災害発生時の情報提供 ※最短ケース



18時間後~



被害箇所位置図

平常時の画像と比較することにより
被災箇所を抽出
(GISデータ、出力図)

被災箇所の位置を把握
災害規模の状況を把握

36時間後~



被害状況写真

航空機により、被災状況を
いち早く撮影
(密着写真、写真出力図)

被災現場の状況を視覚的に把握

経過時間

4日後~



被害状況図

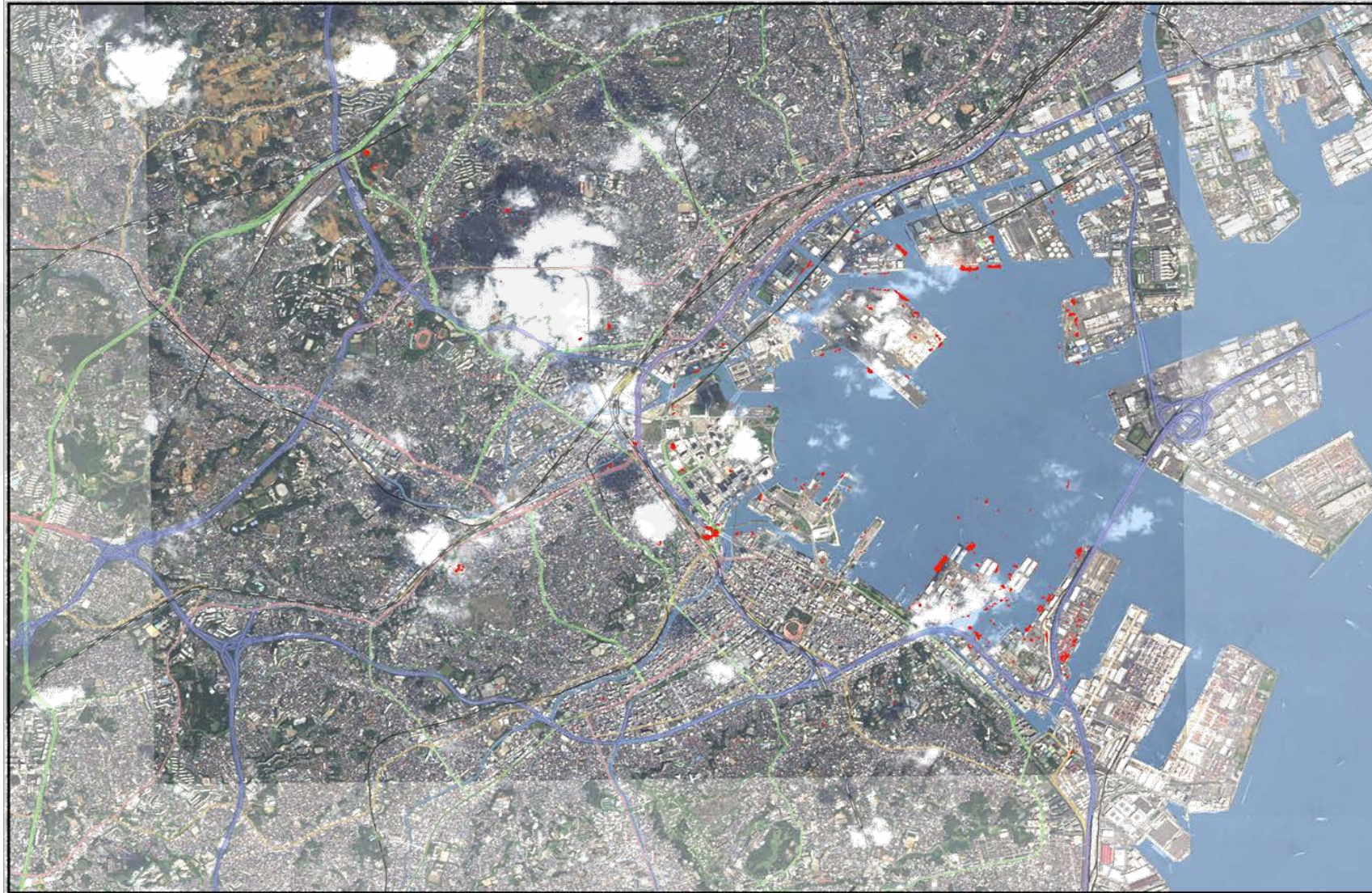
より詳細な災害情報を提供
(GISデータ、出力図)

復旧に向け、被災箇所の詳細を把握

『変化箇所図』のイメージ

TerraSAR-Xによる変化抽出箇所の抽出事例

2008/12/25



(c) PASCO/Includes material (c) JAXA

(C)2002-2007 PASCO (C)1990-2007 INCREMENT P (C)2007 財団法人日本デジタル道路地図協会

1:50,000

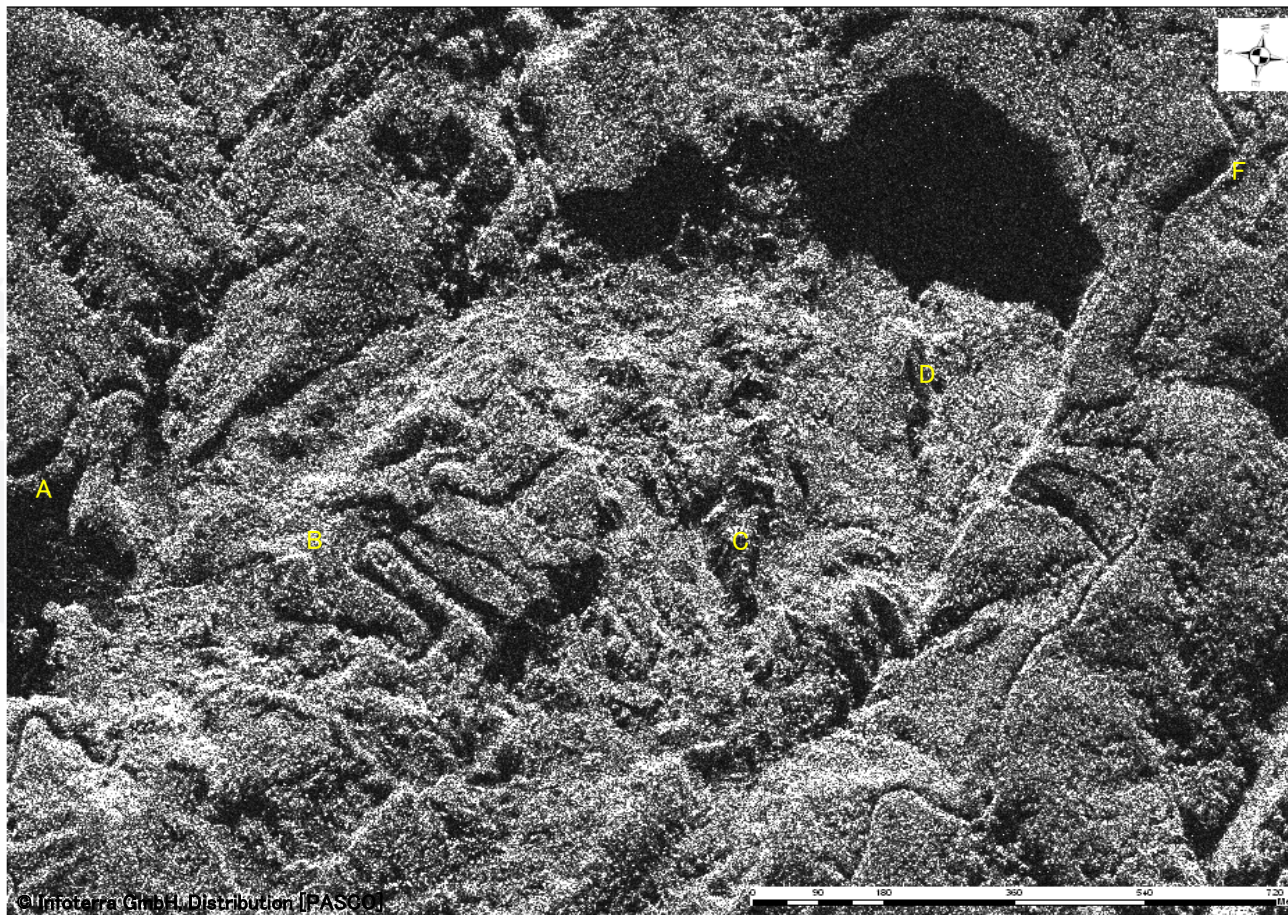
0 250 500 750 1,000 メートル



(2) 岩手・宮城内陸地震の事例

E

第1回 6/16

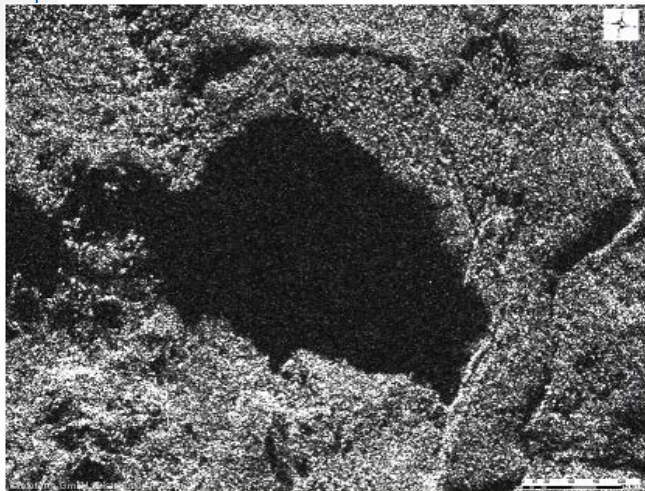


上2枚は6/14 パスコ撮影

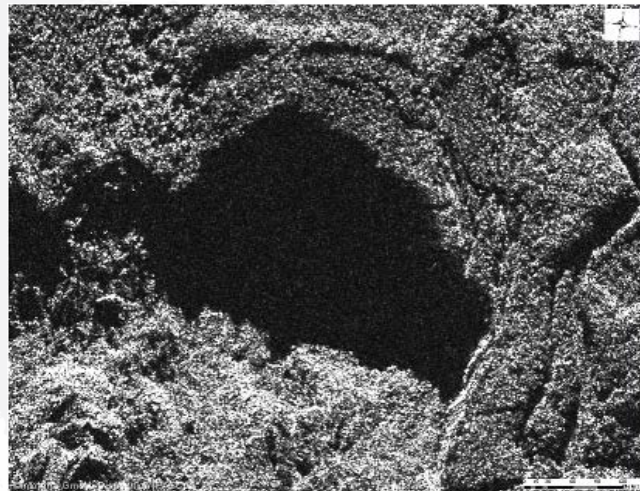


左3枚は6/15 パスコ撮影

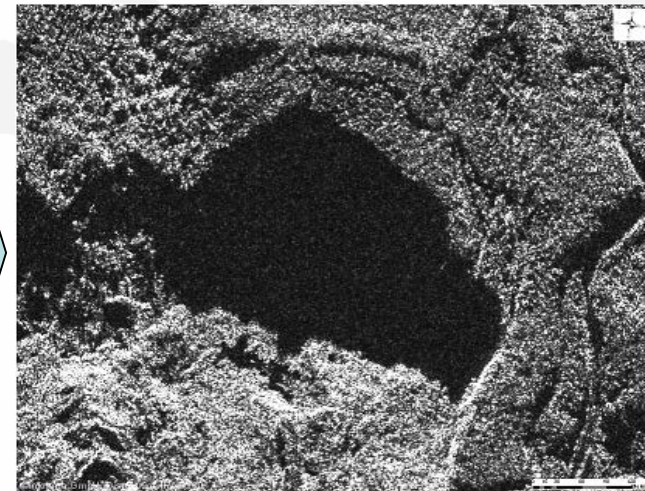
(2) 岩手宮城内陸地震の事例(荒砥沢地すべり変化)



第1回 6/16

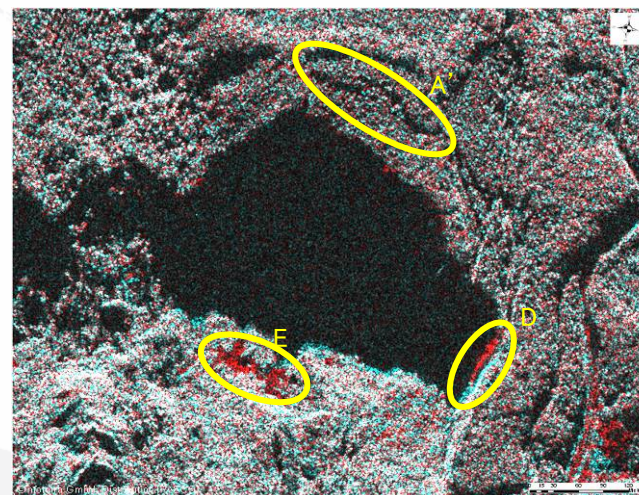
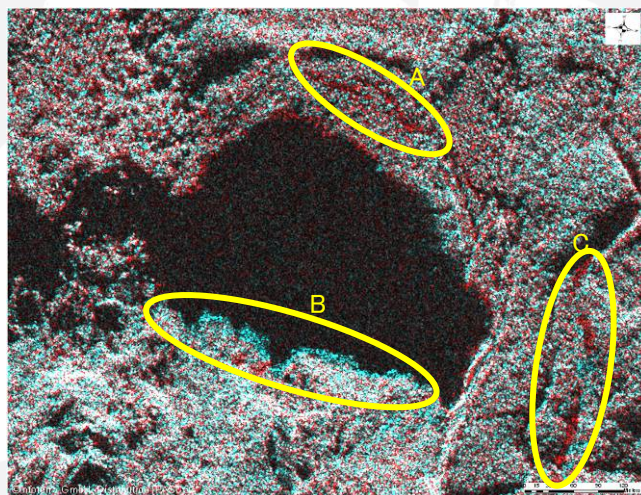


第2回 7/08



第3回 7/30

- A: 新たな亀裂が発生し、大きな落差を生じている。影の長さ約10mから落差が8.5mと計算できる。
- B: 滑落崖の影が後退している。Aに伴い滑落外の肩が沈下したためであろう。
- C: 道路の付け替え工事に伴い、伐採、掘削されたため生じた影と思われる



- A': 2回目に生じた亀裂がさらに拡大している。影の長さも約13mと広くなっており、落差が11mと計算できる。滑落崖の影がさらに後退している。
- D: 細長い小さなブロック(長さ70m幅5m)が消失。崩落したと思われる。第1回の時点で亀裂が発生していた。
- E: 湛水面と思われる影(長さ80m幅15m)が拡大している。第2回の時点で小さなもの(直径13m)が生じている。

第1回を赤、第2回を緑と青に割り当てて合成した画像。黒い影が生じると赤くなる。逆は青くなる。右図は第2回を赤、第3回を緑と青に割り当てている。

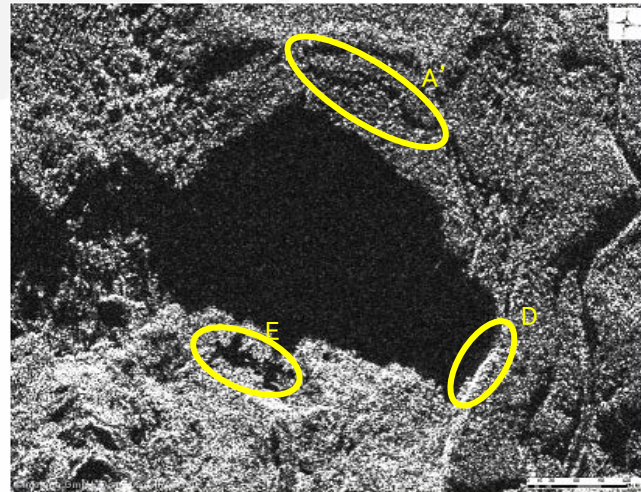
(2) 岩手・宮城内陸地震の事例(荒砥沢地すべり変化)



A': 現地にて亀裂を確認した。高さは南ほど高く、10mオーダーである。



D: の方向を見る。崩落あとはよくわからない。



第3回 7/30



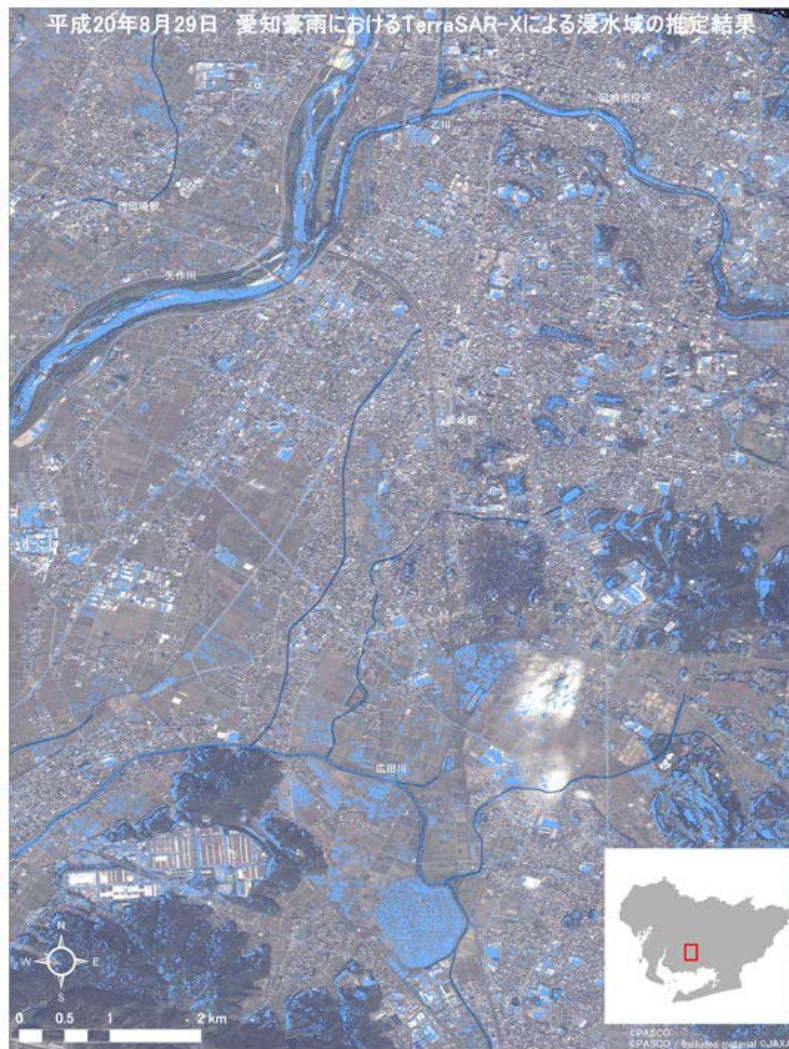
E: 水たまりが確かに認められる。以前はなかったらしい。

荒砥沢ダム上流の巨大地すべりの上部斜面に新たに発生した亀裂

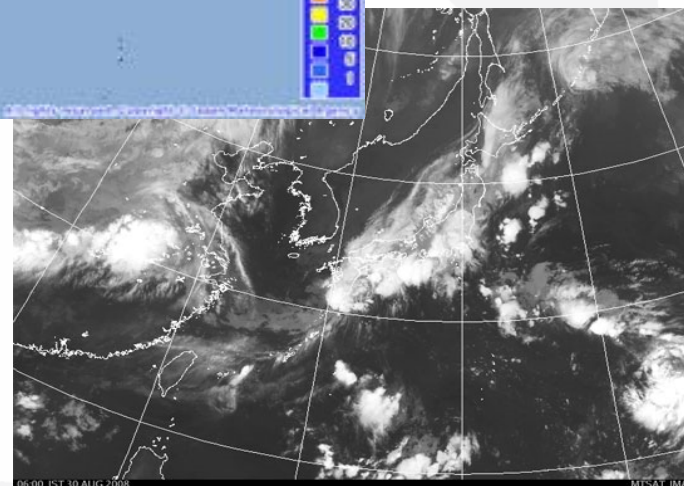
A': 2回目に生じた亀裂がさらに拡大している。影の長さも約13mと広くなっており、落差が11mと計算できる。滑落崖の影がさらに後退している。

D: 細長い小さなブロック(長さ70m幅5m)が消失。崩落したと思われる。第1回の時点で亀裂が発生していた。

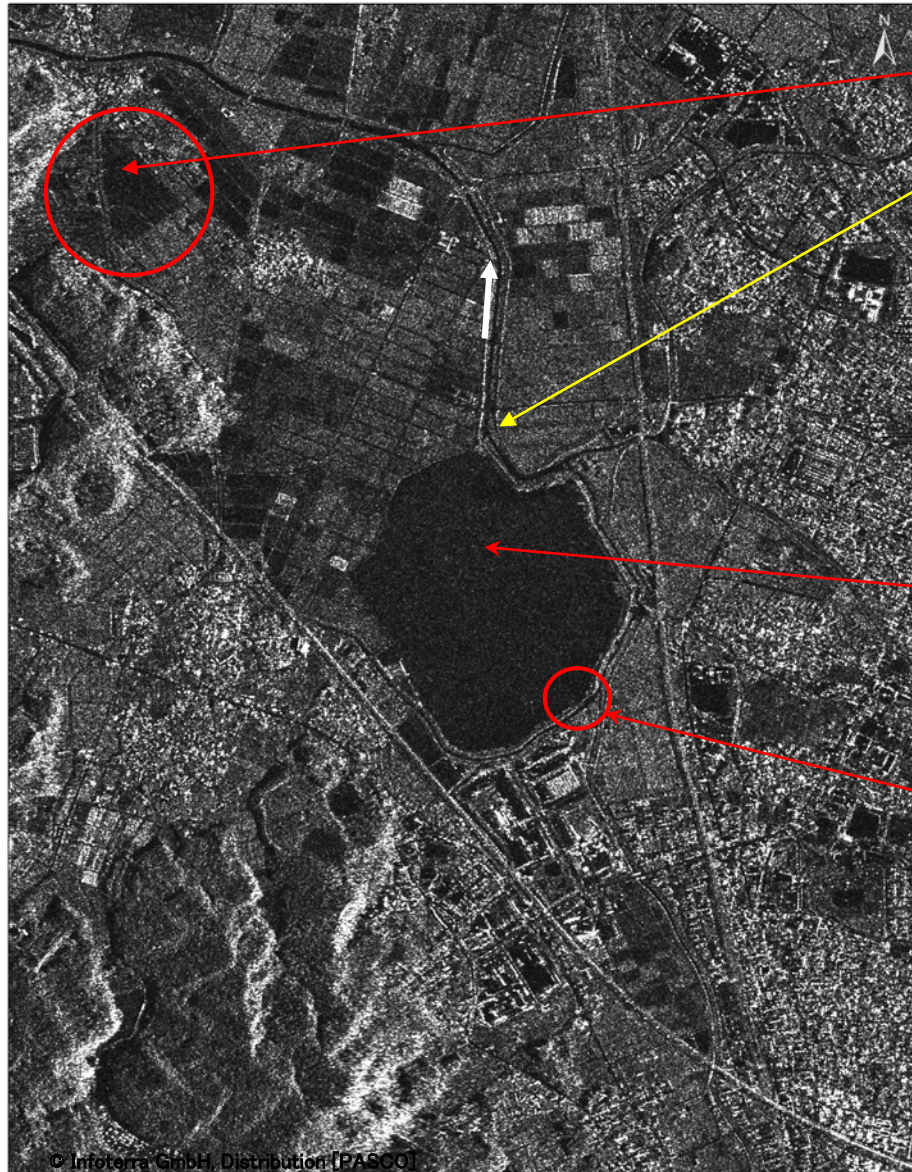
E: 湛水面と思われる影(長さ80m幅15m)が拡大している。第2回の時点で小さなもの(直径13m)が生じている。



8月30日午前6時被災地の緊急撮影
平滑な水面はマイクロ波の反射強度が弱いという特性を用いて、豪雨による浸水域の推定を試みた。



平成20年8月29日愛知県三河地方の集中豪雨により岡崎市から幸田町にかけて浸水被害が発生しました。パスコでは8月30日午前6時に合成開口レーダ(SAR)衛星「TerraSAR-X」により被災地の緊急撮影を行いました。平滑な水面はマイクロ波の反射強度が弱いという特性を用いて、今回の豪雨による浸水域の推定を試みました。幸田町の破壊による浸水域が明確に抽出できています。周辺にも反射強度の弱い部分が抽出(水色)されており、浸水が疑われます。



広田川

報道写真から
氾濫地と判明

報道写真から氾濫地と判明

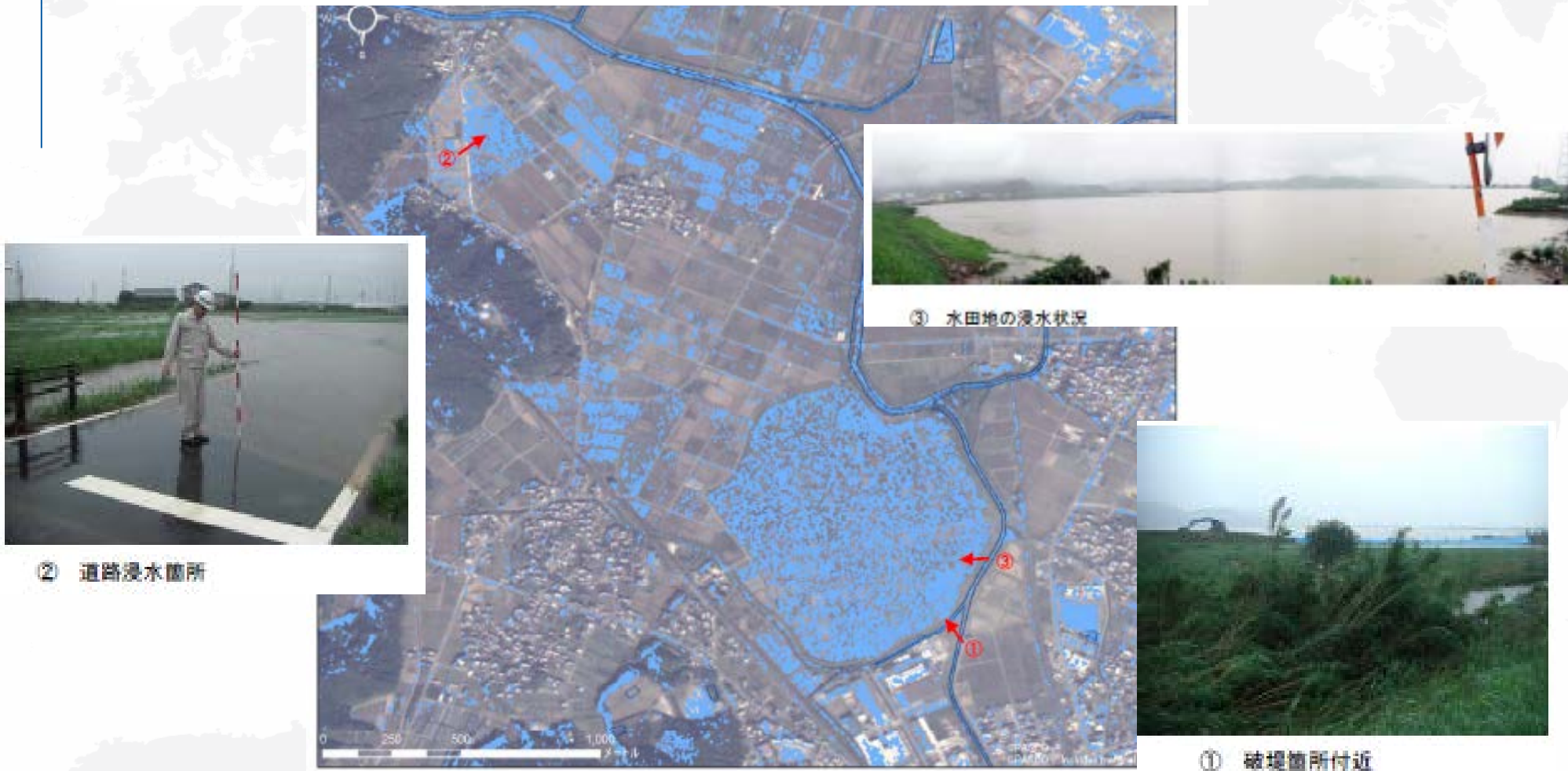


田畑が冠水した現場=29日午前、愛知県幸田町で、本社へ「わかづる」から

欠壊ポイント

三河地域 岡崎市・幸田町水害の事例

- ・幸田町の破堤による浸水域が明瞭に抽出されている
- ・周辺にも反射強度の弱い部分が抽出(水色)されており、浸水が疑われる。これらの分布は旧河道等の低地と一致しているように推察される。



■技術概要

1) 合成開口レーダ

- ① マイクロ波による高解像度のデジタル画像を取得(最高1 mの分解能)
- ② マイクロ波は雨・雲を透過し、可視光を用いないので夜間も観測できて高稼働率で画像取得

2) 合成開口レーダ「TerraSAR-X」の諸元

- ① 探査用電磁波: Xバンド (波長: 3.11 cm)、可視光線を用いない能動型
- ② 撮影モード: SpotLight、StripMap、ScanSARの3つを使い分け、1 m、3 m、16mの空間分解能を有する。
- ③ 入射角: 20-45° (SpotLightモードは、20-55°)
- ④ 観測方式: 単偏波、二重偏波、四重偏波 (次年度予定)の偏波観測
- ⑤ 再帰日数: 11日

このような特性を持ち地上の幅広い分野への利用が期待されており、水はマイクロ波の効率的放射体なので、海岸・海洋分野はTerraSAR-Xの利用が期待される分野の1つである。

まとめ2 (従来技術と優位性)

1) 比較対象となる従来技術

- 可視光線センサー衛星: LANDSAT、SPOT、IKONOS等
- 航空機搭載合成開口レーダ: 油流出のモニタリング、海洋波浪、流況、海上風の計測、
- 合成開口レーダ衛星
 - ① Radarsat: カナダのCanadian Coast Guardが海上流出油把握に活用
 - ② ALOS「だいち」: 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が、06年10月～サービスを開始(Lバンド)

2) 従来技術に対する優位性

- 天候障害、夜間等の制約がなく**観測稼働率が高く**、衛星画像を用いた定期的な詳細観測が可能
- より**広域の現象を**同時性を持って**把握**でき、空港周辺等の**飛行規制もない**。
- Xバンドでより**解像度が高い**。
- 09年に2基目を打ち上げ、併走運航予定し、高さの精度を向上(2m)

1) 大規模災害における港湾・海岸・空港等の被災状況の把握

再帰日数は11日であるが、実用的には3日以内(約80%確率)で画像を取得

- ①施設・船舶・航空機等の被災概況(含むアクセス道路、航路)
- ②津波・高潮による浸水状況、空コンテナ等漂流状況
- ③海上への油流出状況

2) 海象等の把握

- ①津波、波浪の波向、波長

注) Sea Truth: 超短波レーダ一面的観測、GPS波浪計との比較

- ②海上強風の風向等
- ③津波・高潮による浸水状況
- ④砂浜・干潟の海浜変形(堆積、侵食)

3) 港湾・空港活動状況

平常時から対象地域の画像を整備し、
災害に備える「災害情報提供システム」の構築

Measure the Earth, Here and Beyond



概要

TerraSAR-X画像の反射強度の違いやその変化によって災害被害地域の抽出を行う。

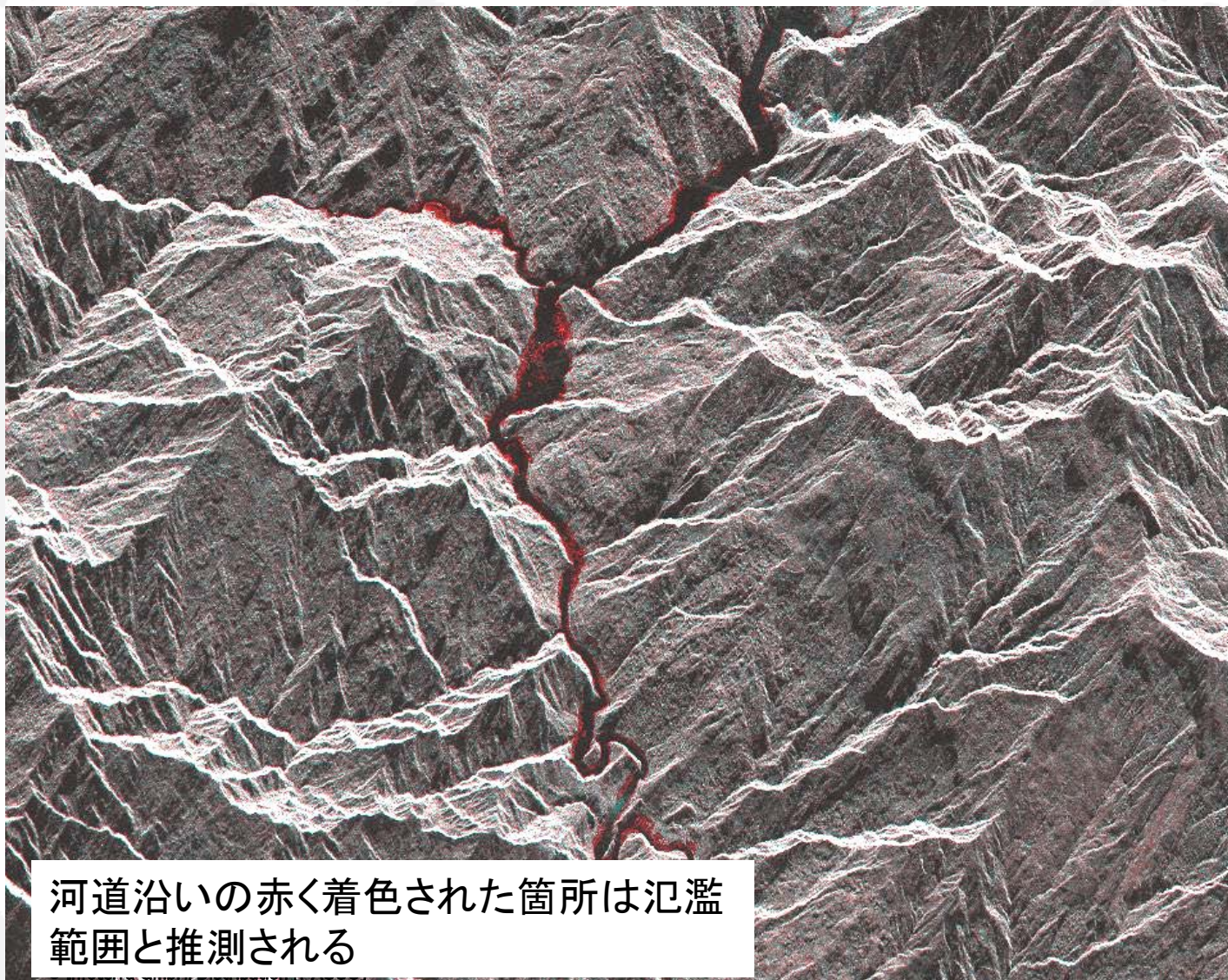
・地震被害箇所の抽出

1. 2008年6月 岩手宮城内陸地震の事例

・水害域の抽出

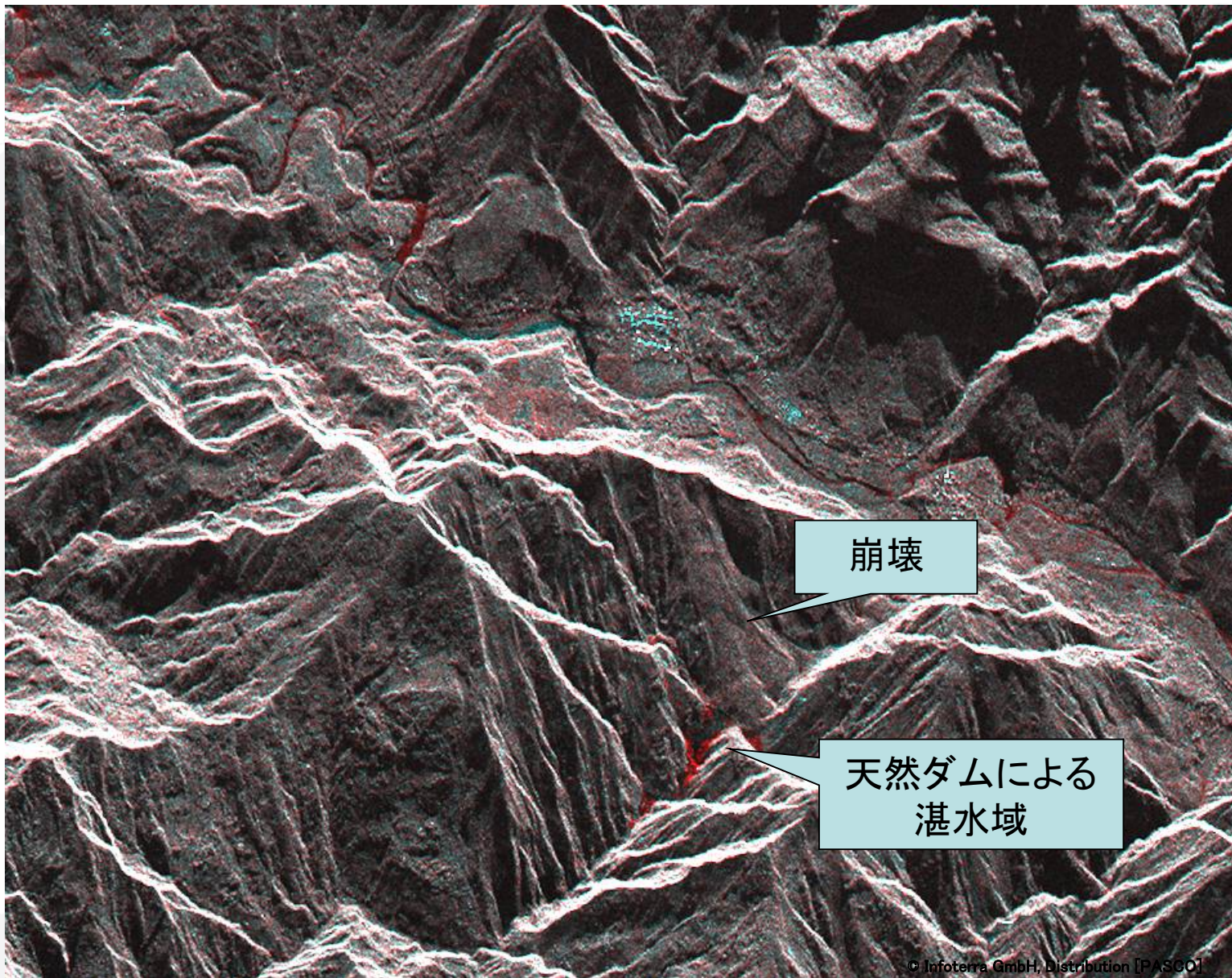
1. 2008年8月 三河地域 岡崎市・幸田町水害の事例

(1) 中国四川大地震の事例 唐家山ダムとその周辺



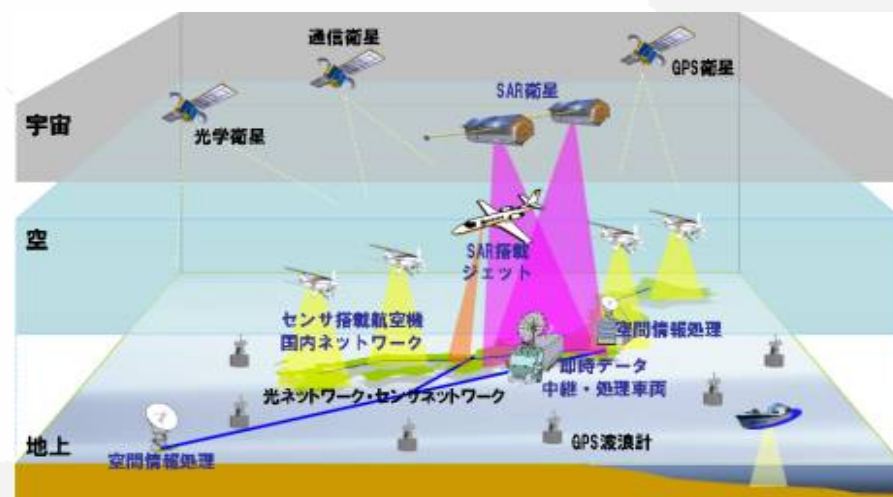
河道沿いの赤く着色された箇所は氾濫
範囲と推測される

(1) 中国四川大地震の事例 唐家山ダムとその周辺



- ・ **自然災害発生時における迅速な情報収集**
 - 自然災害の発災後は情報の空白期間となり、被害状況の取得が困難
 - 衛星、航空機を活用することは、迅速に広域の情報取得ができる有効な手段
- ・ **平常時における災害対策の拡充**
 - 災害に強いまちづくりの基盤となる最新の空間情報の蓄積が必要
 - 定期的を取得した空間情報は防災計画策定の基礎データとしてだけでなく、森林管理や都市計画など多目的に活用できる
 - 発災時には、被害エリアの抽出、被害状況の広域的な把握に利用できる
- ・ **自然災害発生後の情報提供、復興支援**
 - 発災後も長期的に情報収集を続け、2次災害の防止、早急な復興を支援
 - 被災したエリアのインフラ、建物等の復興を支援

地上、海上に設置された観測機器やセンサネットワークと、人工衛星や航空機等のリソースを統合利用することで、あらゆる方向から災害時の被害情報を迅速に収集することが重要です



将来の災害時情報収集イメージ

TerraSAR-Xについて



TERRA SAR X

1. TerraSAR-Xは、**商用初の高分解能XバンドSAR衛星**

	分解能	
・TerraSAR-X		最大1m
・ALOS (PALSAR)		最大10m
・RADARSAT		最大10m
・RADARSAT-2		最大3m
・ENVISAT		最大25m

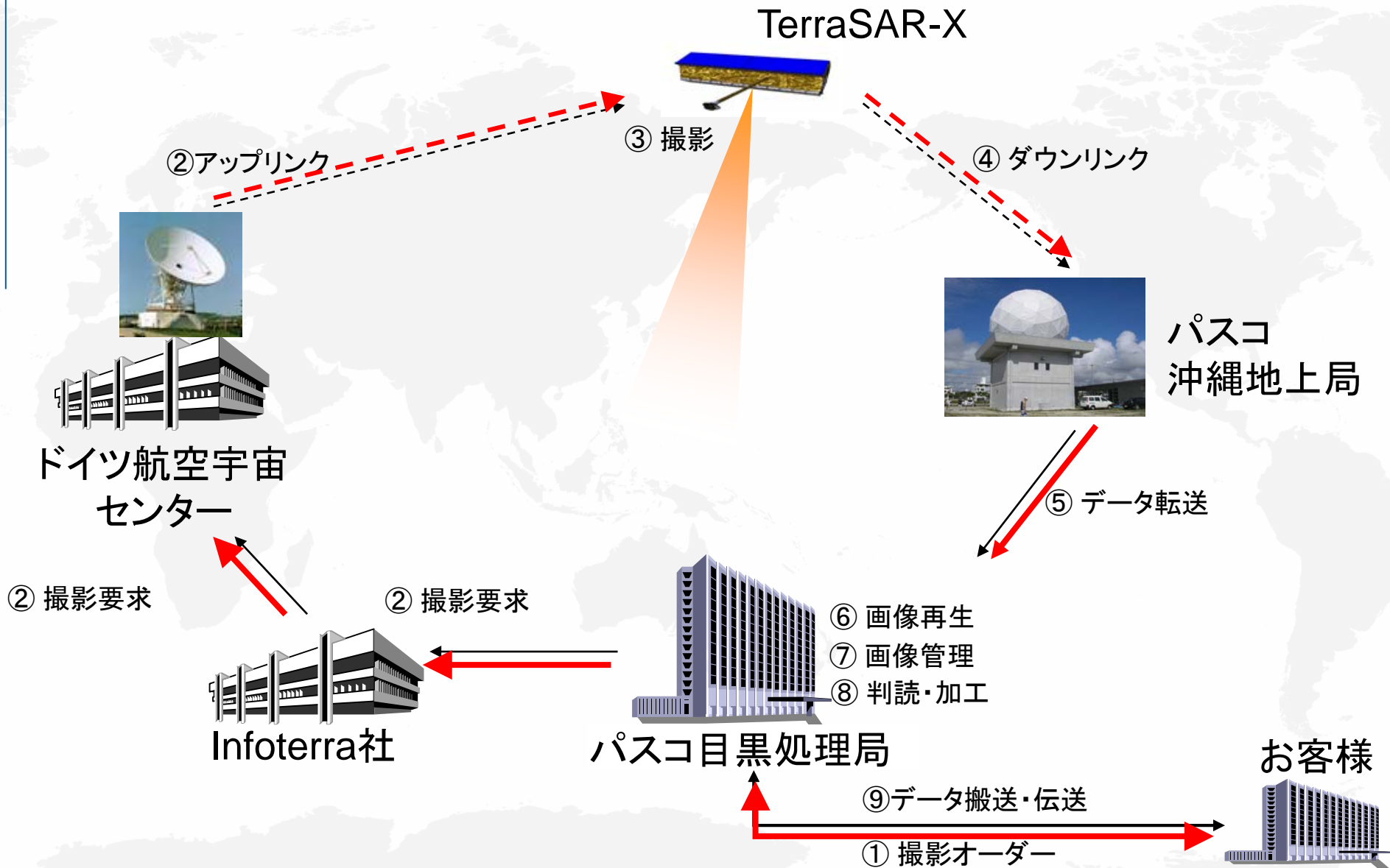
2. 軌道**回帰日数**が少なく、**変化抽出などの解析に有利**

→衛星が同座標に来る期間(軌道回帰日数)が少ない。

	回帰日数	
・TerraSAR-X		11日
・ALOS (PALSAR)		46日
・RADARSAT		24日
・RADARSAT-2		24日
・ENVISAT		35日

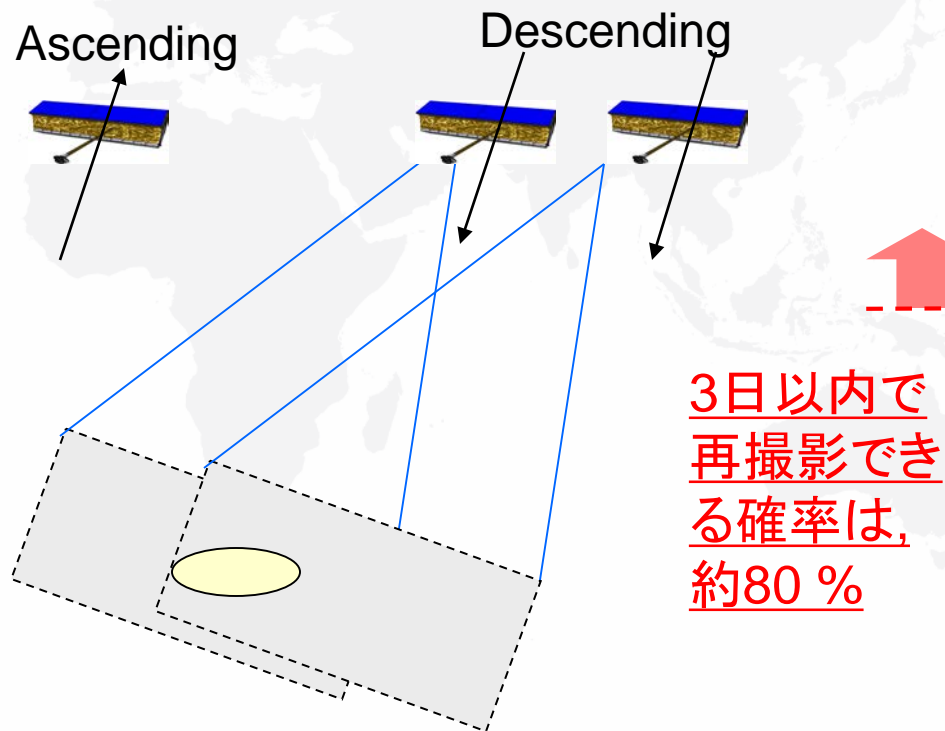
3. TerraSAR-Xは、TanDEM-Xとの併用で**全世界の高解像度のDEM**を作成可能

運用概要(直接受信圏内)



TerraSAR-Xの再撮影日数

- ・衛星の軌道周期(回帰日数)は**11日**
- ・センサー入射角を変更することで**3日程度**に実用上短縮



入射角を変えて
撮影可能エリア

日数	4軌道 (36%)	3軌道 (48%)	2軌道 (16%)	割合 (重み付け)
0日	0.50	0.375	0.25	3.6%
1日	3.50	2.675	1.75	25.5%
2日	4.00	3.00	2.00	29.1%
3日	2.75	2.75	1.875	23.7%
4日	0.25	1.25	1.125	7.9%
5日		0.875	1.00	5.2%
6日		0.125	1.00	2.0%
7日			1.00	1.5%
8日			0.875	1.2%
9日			0.125	0.2%

※表の数は、11日の軌道条件での該当回数。
※撮影時刻により変化するため、重み付けして算出

- 海上波浪、流れの観測
- 沿岸域のモニタリング
 - 海浜、干潟の変形、高潮等、高潮等浸水、船舶の動きなど
- 災害状況の早期把握
 - 油の海上流出、施設被害、港湾施設等
- 港湾、空港、沿岸域の地形地物の管理

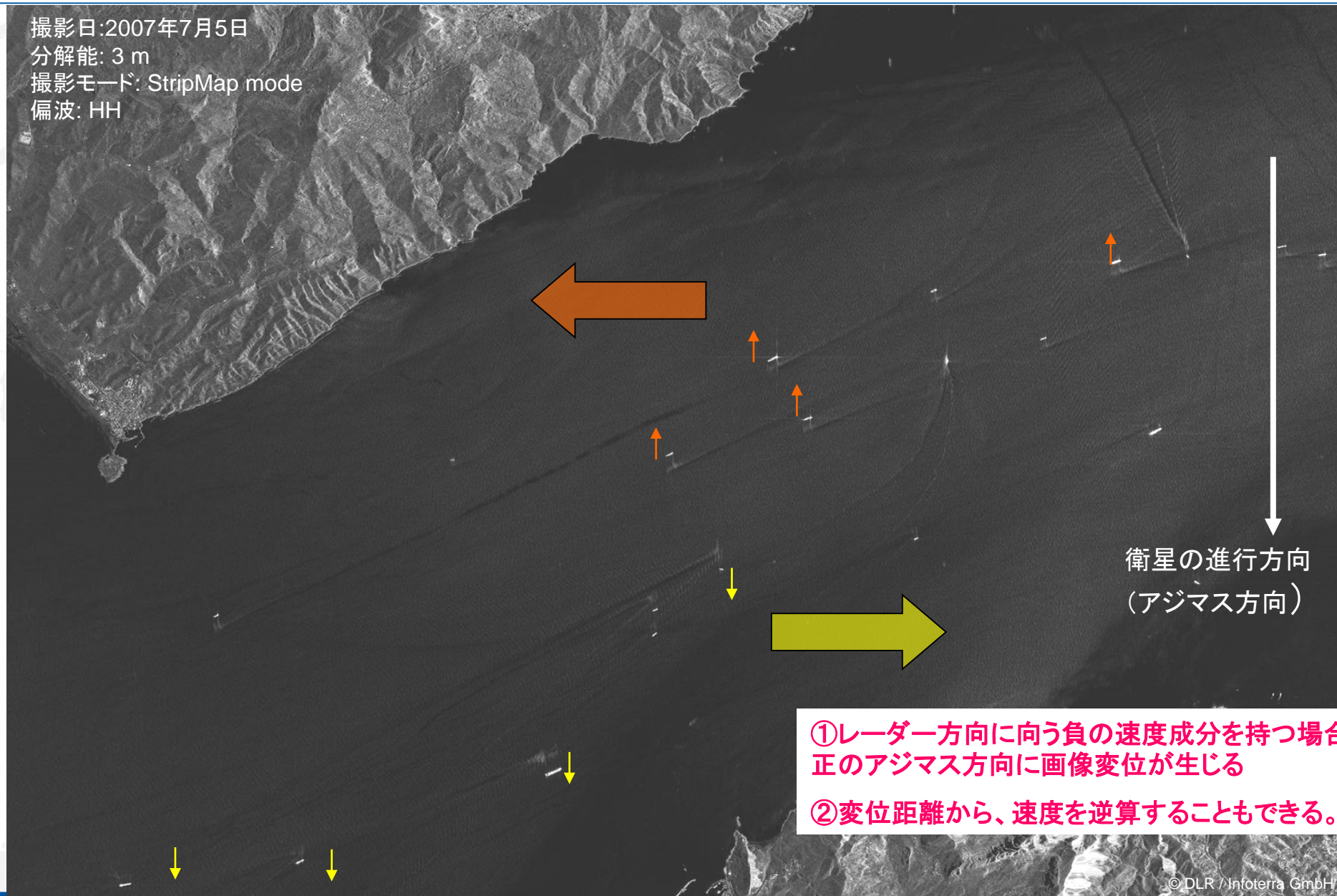
波浪の観測 (シドニー)

撮影日: 2007年7月9日
分解能: 3 m
撮影モード: StripMap mode
偏波: VV

シドニーの空港の南に位置するボダニー湾がこのTerraSAR-X画像の上部に見えています。右下はベイト湾です。タスマン海から海岸線の方向へ横揺れしている荒海を確認することができます。開水面では、波の長さは約150mになります。水深がより浅くなると波長は短くなり、最終的には海岸線に衝突して砕けます。画像はいわゆる回折効果を示しています。そしてそれは波のピッチの変化を示します(画像下部の中央で見られるもの)。この影響は、水深の変化にも関連があります。そのような高解像度の波動場の2次元画像は、様々な海岸線管理と輸送管理に応用することができます。

船舶の動き (ジブラルタル海峡)

撮影日: 2007年7月5日
分解能: 3 m
撮影モード: StripMap mode
偏波: HH



衛星の進行方向
(アジマス方向)

- ①レーダー方向に向う負の速度成分を持つ場合、正のアジマス方向に画像変位が生じる
- ②変位距離から、速度を逆算することもできる。

油流出事故の観測（黒海北部）

撮影日:2007年16日
分解能: 3 m(スラントレンジ)
撮影モード: StripMap mode
偏波: HH+VV

マイクロ波(Xバンド)の特性で油と海水の誘電率の違いを観測します。特に、TerraSAR-Xでは、偏波観測機能(HH+VV)を持つため、より鮮明にオイルの広がりが明確に把握することができます。青く暗い部分が重油分布範囲です。

この画像は、2007年11月16日に黒海北部で起こったタンカー事故による重油流出事故を撮影された画像であり、オイルタンクの破損から5日後に撮影されています。分解能3mであり、撮影範囲は15km×50kmです。TerraSAR-Xでは、高分解能、撮影範囲の広域性、偏波機能によって、オイル・スリックの検出を向上させることができます。

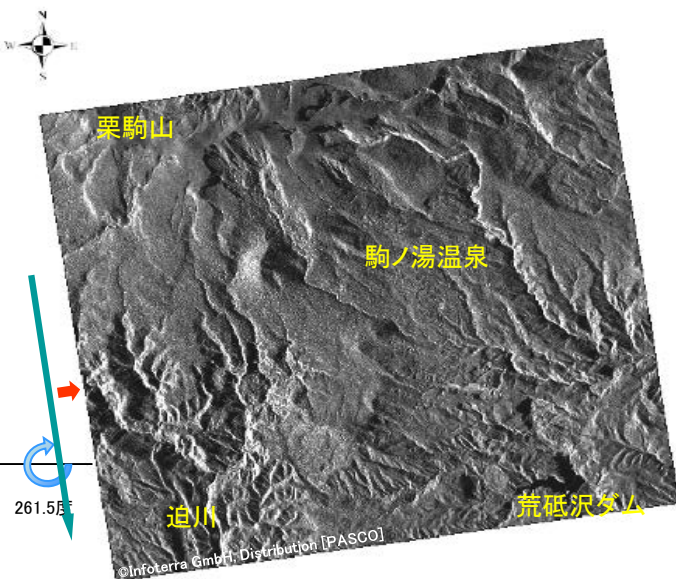
(1) 中国四川大地震の事例 唐家山ダムとその周辺

対象地域: 四川省 唐家山ダム周辺

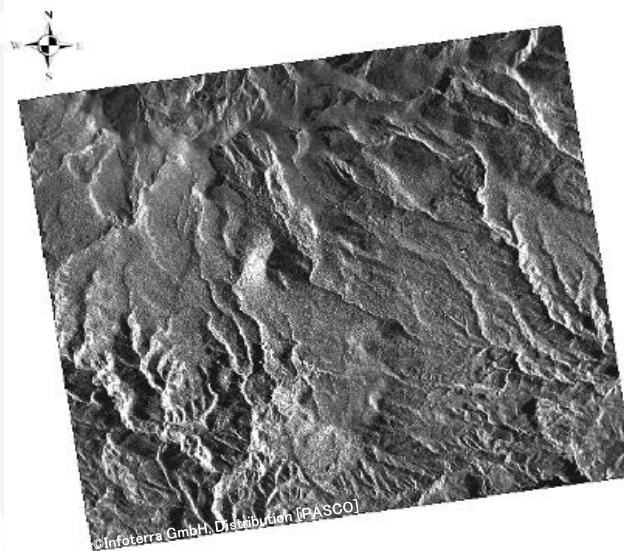
概要: 地震直後(5/15)と地震から約1ヶ月後の画像から土砂ダムのたん水面や水害被害地域を推定する。

項目	地震直後	地震から約1ヶ月後
撮影日時(UTC)	2008/5/15 23:02	2008/6/17 23:02
撮影モード	StripMap	StripMap
撮影パス	Descending	Descending
偏波	Single(HH)	Single(HH)
入射角	42.9°	42.8°
プロダクト	GEC	GEC
画像強調	Spatial Enhancement	Spatial Enhancement
地上分解能(レンジ)	2.95 m	2.95 m
地上分解能(アジマス)	3.09 m	3.09 m

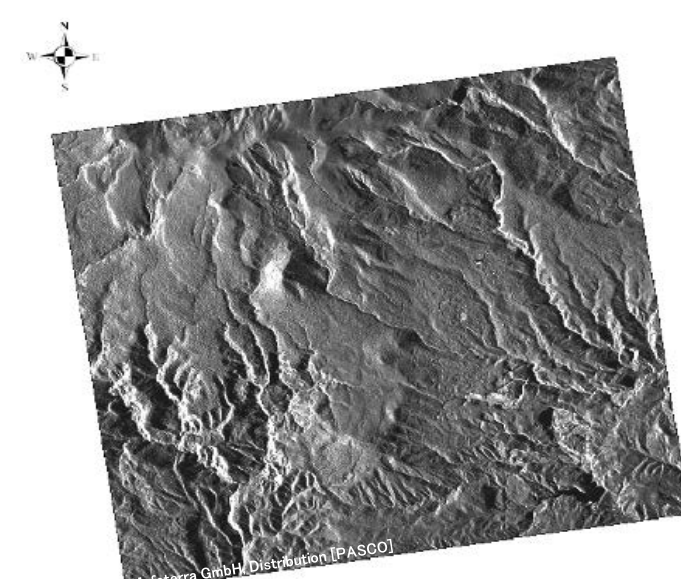
(2) 岩手宮城内陸地震の事例



第1回



第2回



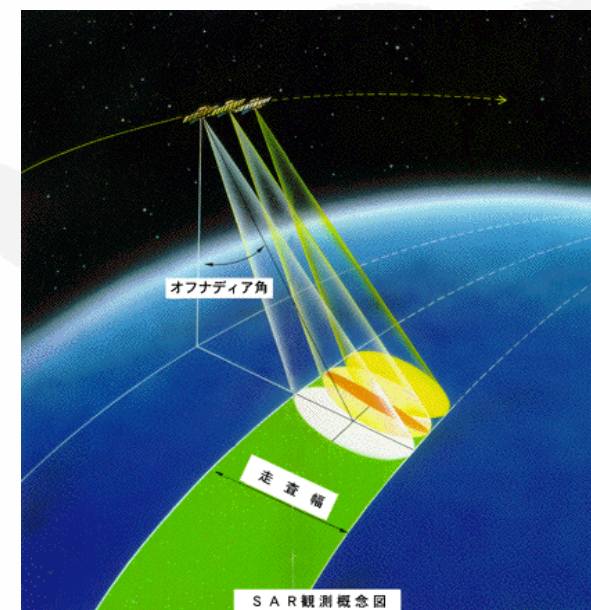
第3回

	第1回	第2回	第3回
撮影年月日 時間 (JST)	2008/06/16 17:37	2008/07/08 17:37	2008/07/30 17:37
軌道方向	Ascending(北上り)	Ascending(北上り)	Ascending(北上り)
照射角(中心)	49.4	49.3	49.4
モード	Spot Light	Spot Light	Spot Light
地上分解能(レンジ方向)	1.5m	1.5m	1.5m
地上分解能(クジマス)	1.6m	1.7m	1.7m

SAR(合成開口レーダ)とは？

SAR (Synthetic Aperture Radar) : 合成開口レーダ

- ・ マイクロ波を地表面に斜めに照射し, 地表面からの後方散乱波を受信する能動型センサ
- ・ マイクロ波の波長1mm~1mであり、光学に比べ波長が長い^{ため}解像度が低くなる。
- ・ 高い解像度を得るため衛星搭載合成開口レーダ(衛星SAR)が開発された

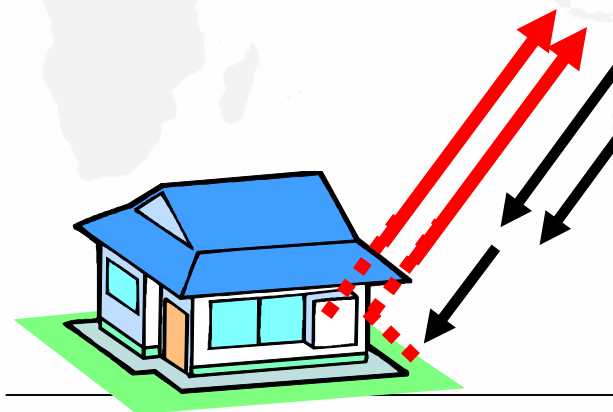


■ SARの特徴

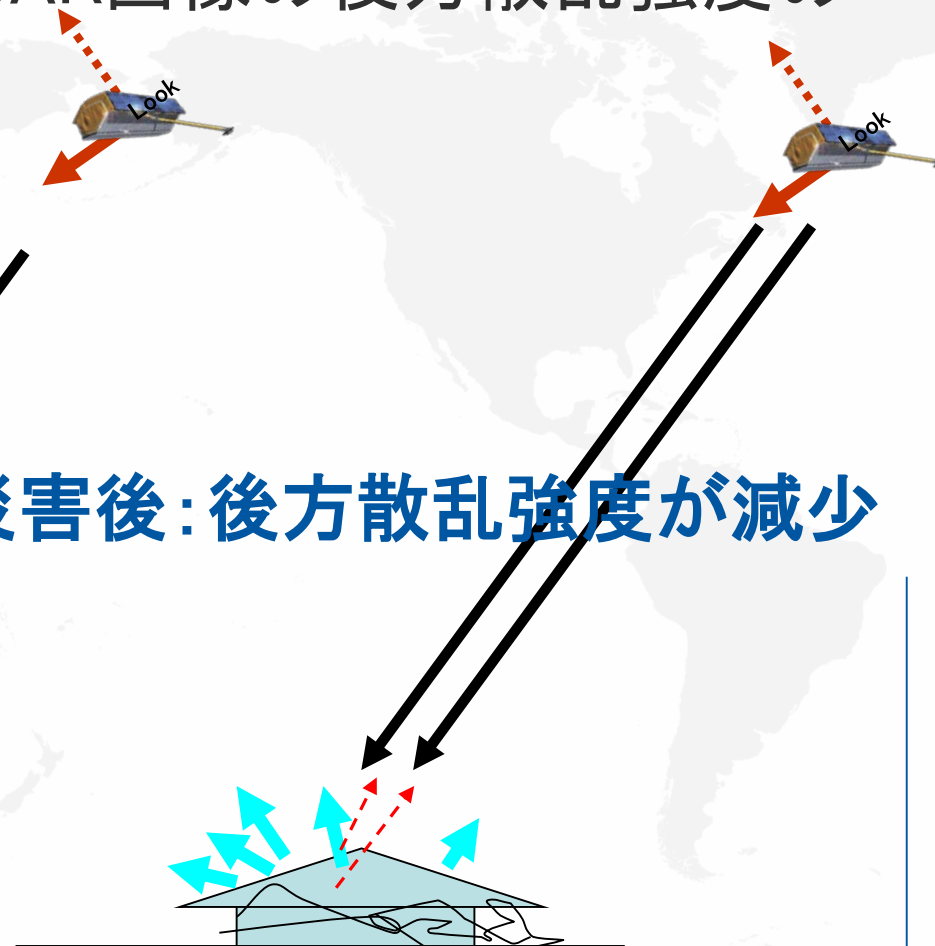
- ・ 撮影効率が^{高い}(光学衛星の18倍): 雲や雨の影響を受けにくい
- ・ 水域、海面の特徴検出、船の検出 : 平滑な水面ではマイクロ波は鏡面散乱する
- ・ 後方散乱強度の違いによって変化領域を抽出
- ・ 偏波によってテクスチャー(形状)を判別、干渉波計測で高さや変動量がわかる

変化抽出手法では、災害前後のSAR画像の後方散乱強度の変化を利用して抽出を行う。

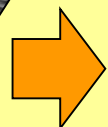
災害前：強い後方散乱



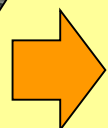
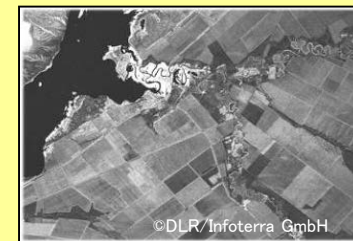
災害後：後方散乱強度が減少



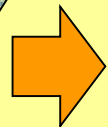
平常時の情報提供



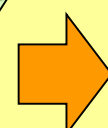
- SAR衛星画像（年2回撮影）
 - TerraSAR-Xにより全域の画像を取得
 - 災害時の参照データとして利用
(災害時のデータ解析を目的として撮影画像を当社にて管理)



- 光学衛星画像（年1回更新）
 - ALOS(だいち)により全域の画像を取得し、オルソ画像を提供



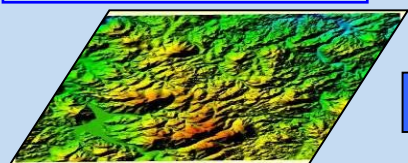
- 地図データ（年1回更新）
 - PFM(PASCO Fresh Map)を全域で整備



- 変動量解析（※複数年実施後に提供）
 - SAR画像を用いて地盤変動等の変動量を解析



オプションメニュー



- DEM（数値地形モデル）
 - 衛星画像データからDEMを生成



1) DLR (ドイツ国航空宇宙局)

EADS Astrium (欧州最大規模の宇宙産業企業)と協力してTerraSAR-Xを開発。
TerraSAR-Xの研究利用を担う。

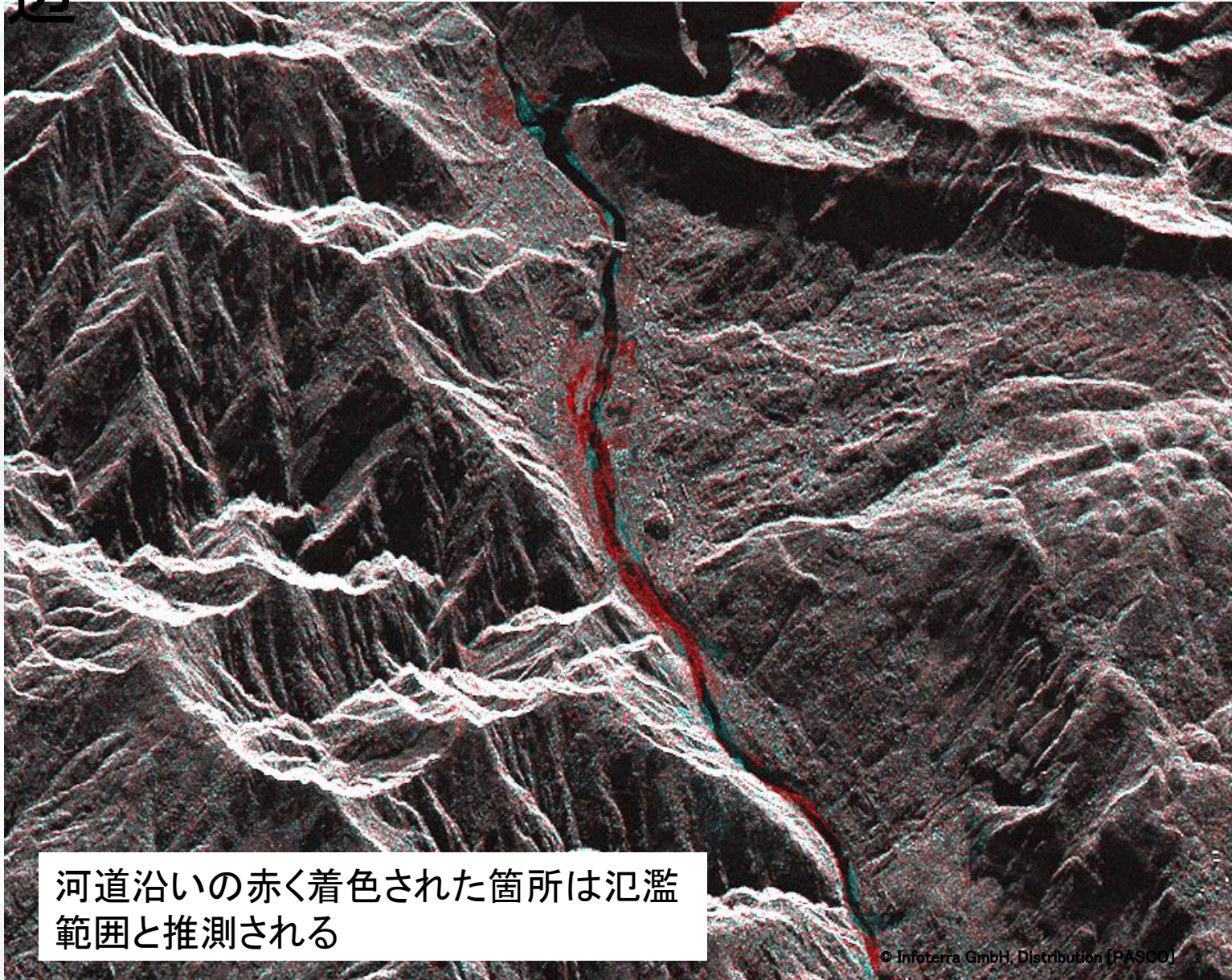
2) Infoterra社

EADS Astriumの100 %子会社。TerraSAR-Xの民間向け販売代理店である。

3) 株式会社パスコ

Infoterra社から国内の独占販売権を取得。沖縄県糸満市に受信局を設置し、国内向け民間サービスを促進している。

(1) 中国四川大地震の事例 唐冢山ダムとその周辺

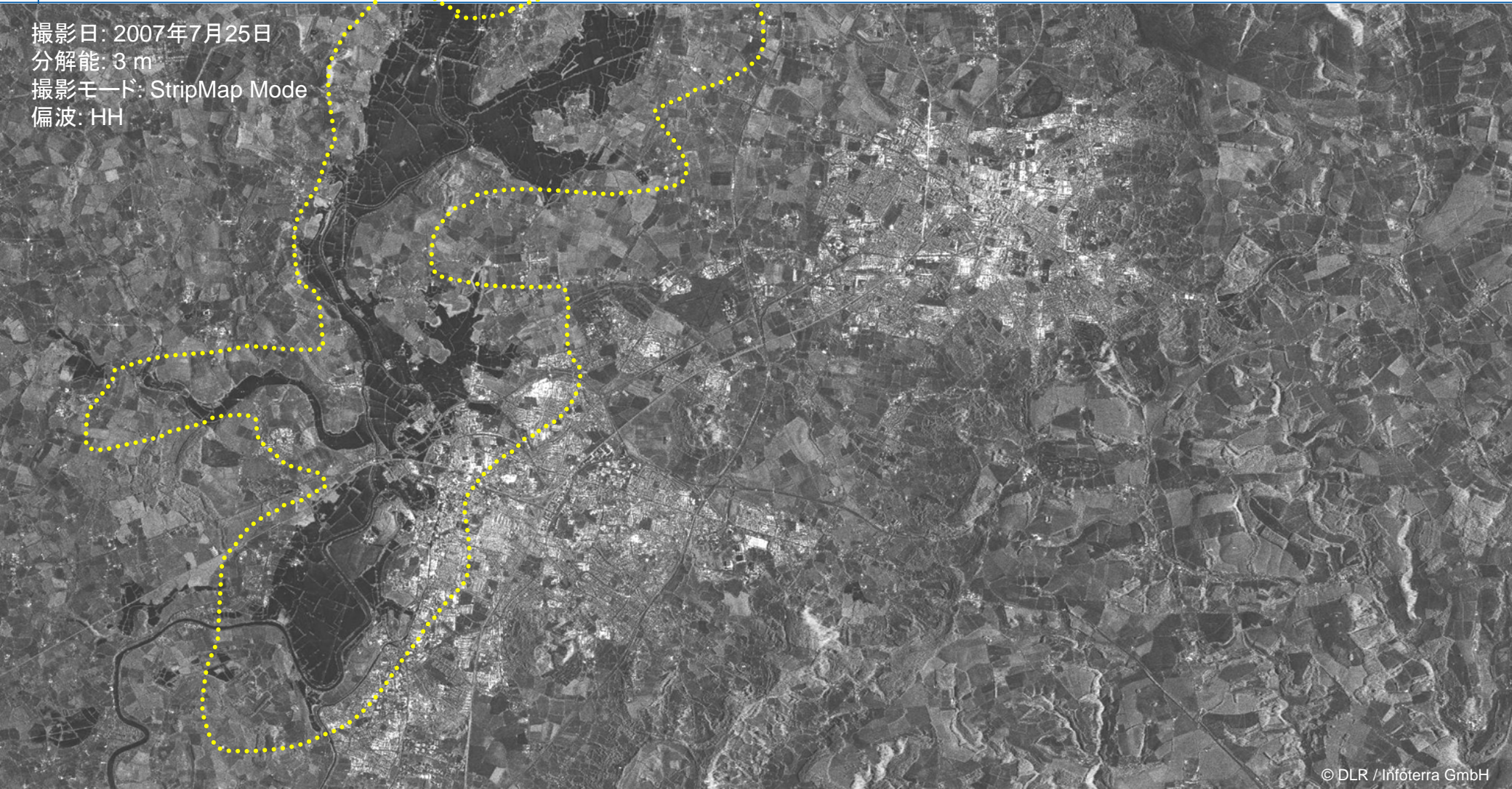


河道沿いの赤く着色された箇所は氾濫
範囲と推測される

© Infoterra GmbH; Distribution [PASCO]

洪水による浸水区域 グロスター(イギリス)

撮影日: 2007年7月25日
分解能: 3 m
撮影モード: StripMap Mode
偏波: HH



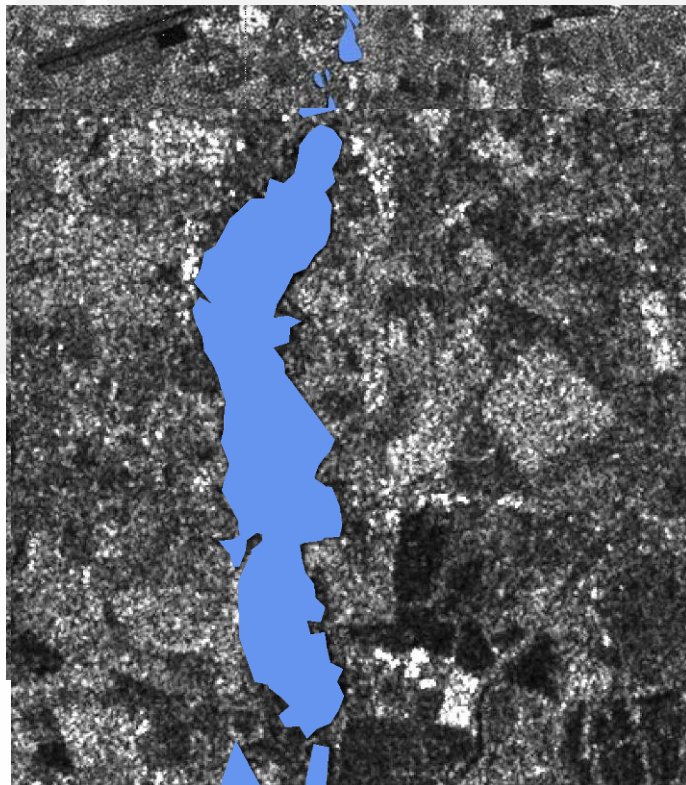
© DLR / Infoterra GmbH

TerraSAR-Xのアプリケーションのひとつとして、洪水によって浸水した地域のマッピングがあります。この画像は、2007年7月に発生した洪水のもので、セバーン川(画像全体の左)の浸水した範囲がとても暗く写り、非常に明らかに分かります。

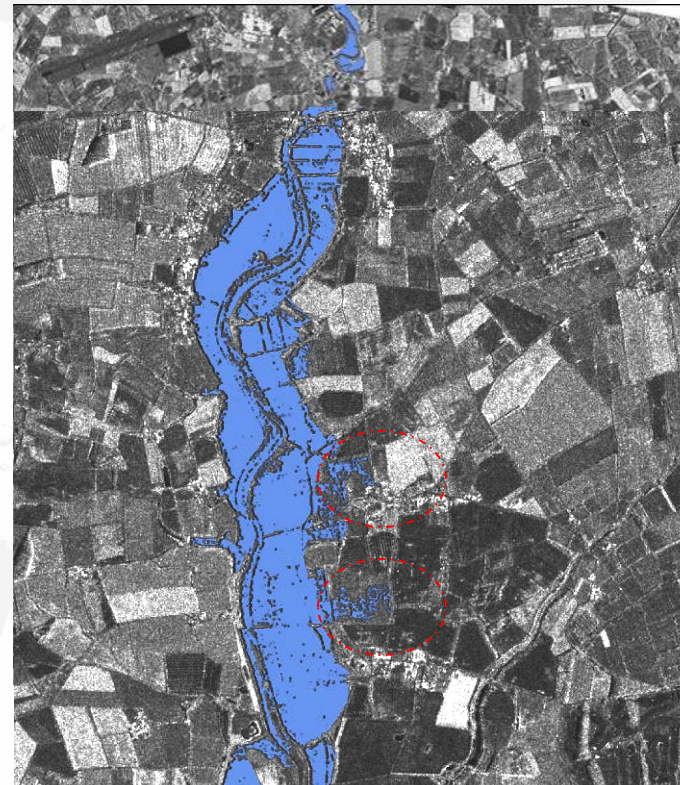
浸水域の特定 (解像度の比較)

大雨による英国の洪水の例 (2007年7月3日)

12.5m解像度



3m 解像度



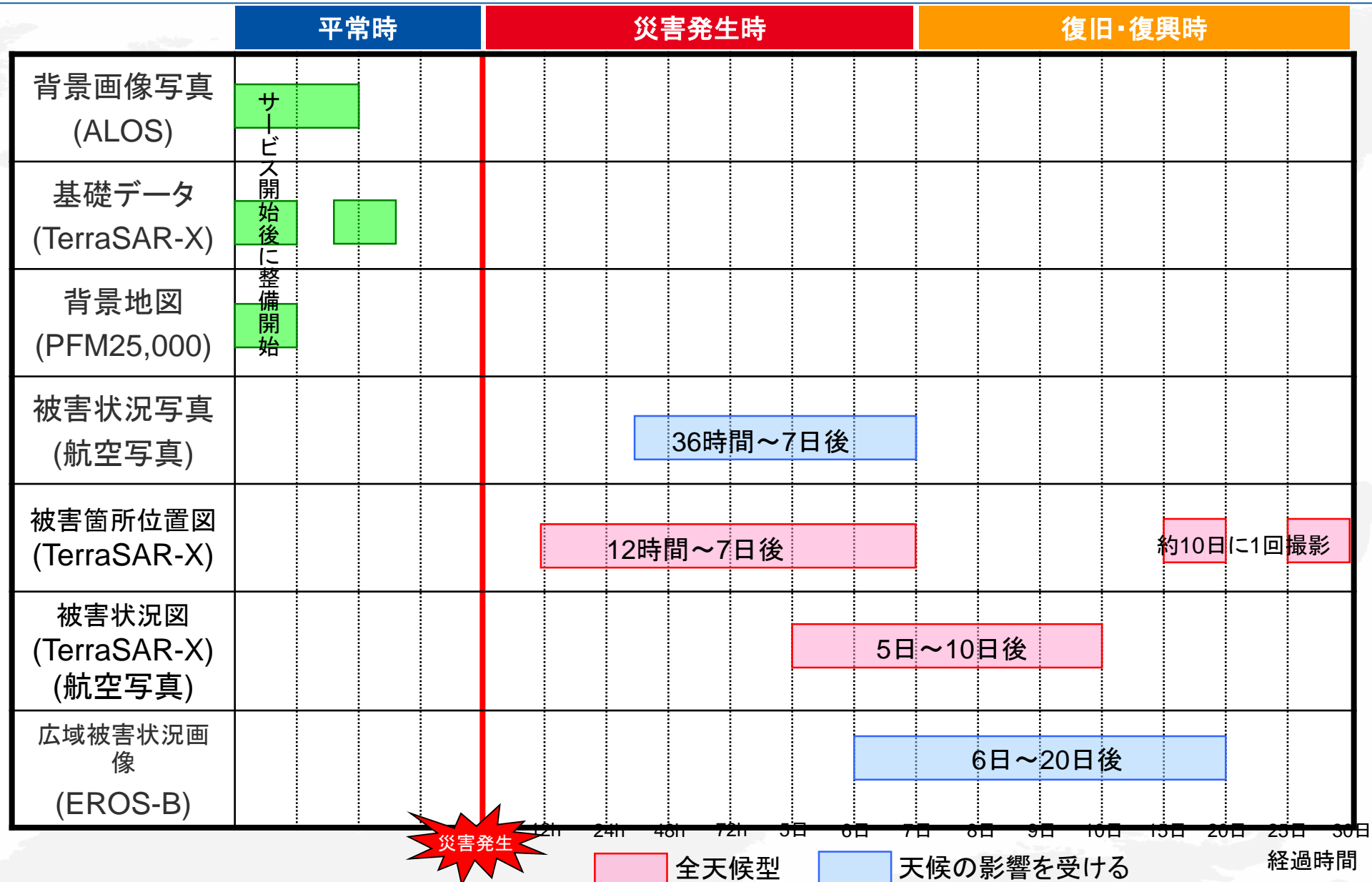
Center for Satellite Based Crisis Information
– Emergency Mapping & Disaster Monitoring –
a service of DFD

(Schmidt *et al.*, 2007)

RADARSAT-1

TerraSAR-X

災害情報の提供時間



TerraSAR-X、打ち上げ成功

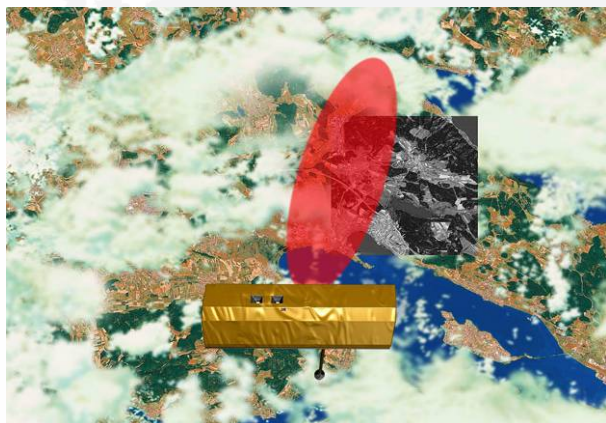
- TerraSAR-Xは
 - ドイツ政府と欧州最大の航空宇宙企業との官民連携事業による商用衛星です。
 - SAR（合成開口レーダ）衛星であり、自らが発するマイクロ波が地上の対象物から反射・散乱されて戻ってくるエコーを受信する能動型センサを搭載しています。
- 2007年6月15日（金）11時14分（日本時間）にカザフスタンのバイコヌール宇宙基地より TerraSAR-Xを搭載した nepr1（ドニエプル1）ロケットが無事打ち上げられました。
- 4日後の6月19日（月）には TerraSAR-Xのファーストイメージが撮影され、6月21日（金）に DLR（ドイツ航空宇宙センター）および Infoterra 社のホームページより 公開されました。



ビームモードの種類と概要

- 目的に応じて、3つのビームモードから選択

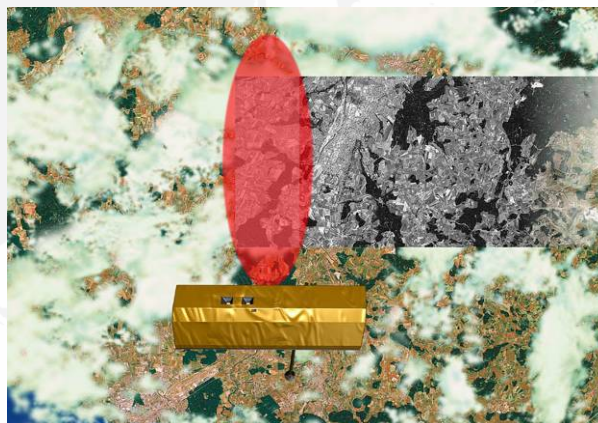
SpotLightモード



高い空間分解能の画像取得に最適

■ 観測幅: 10 km

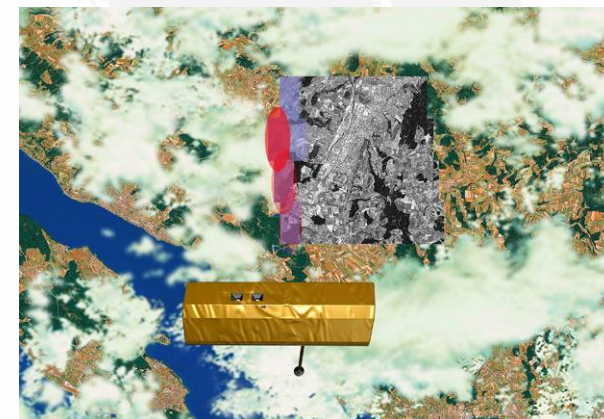
StripMapモード



最適な空間分解能と観測幅の組み合わせ

■ 観測幅: 30 km

ScanSARモード



広域の画像取得に最適

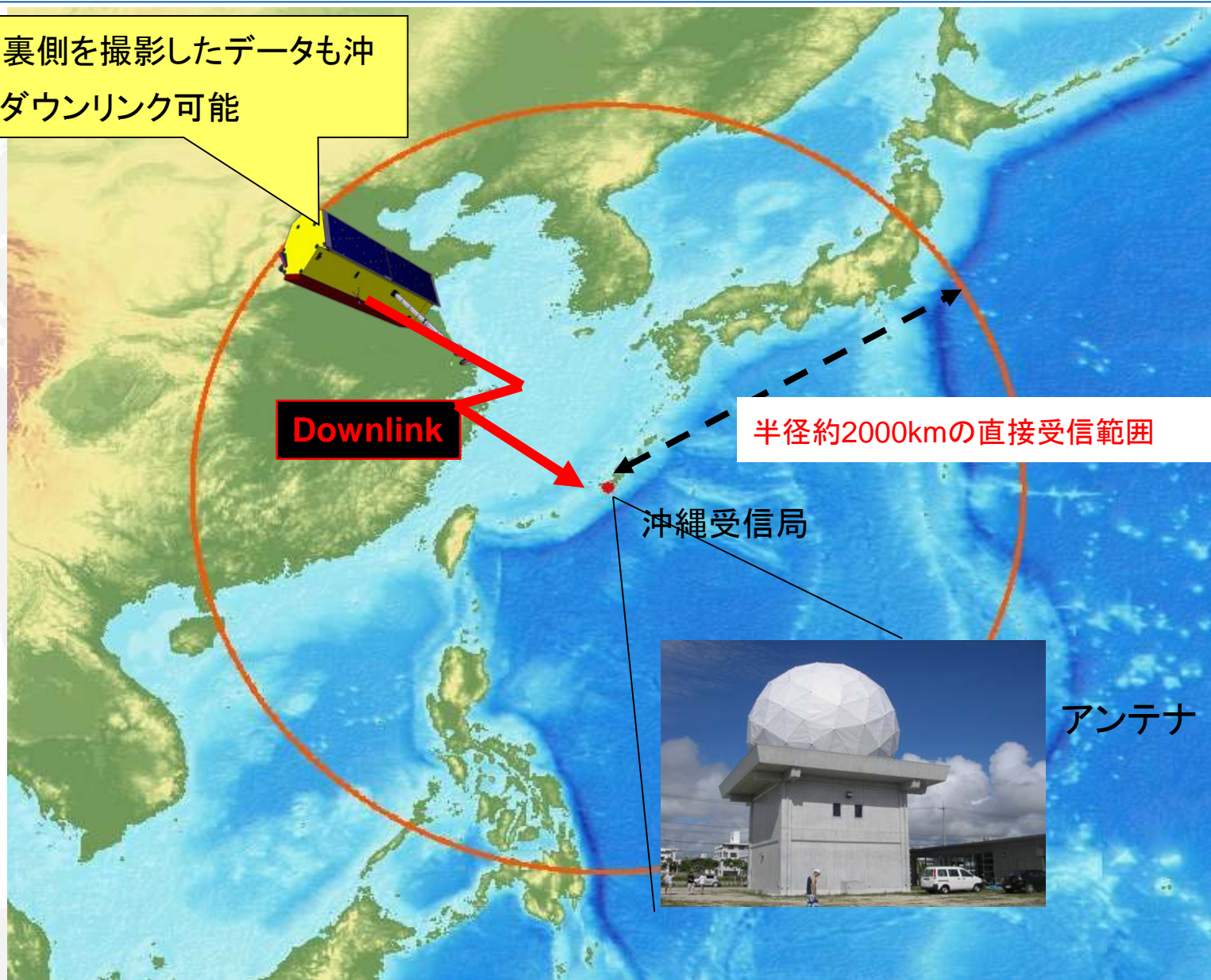
■ 観測幅: 100 km

[Movie](#)

©infoterra

パスコ沖縄地上局の直接受信圏

地球の裏側を撮影したデータも沖縄局でダウンリンク可能



TerraSAR-Xの取組み

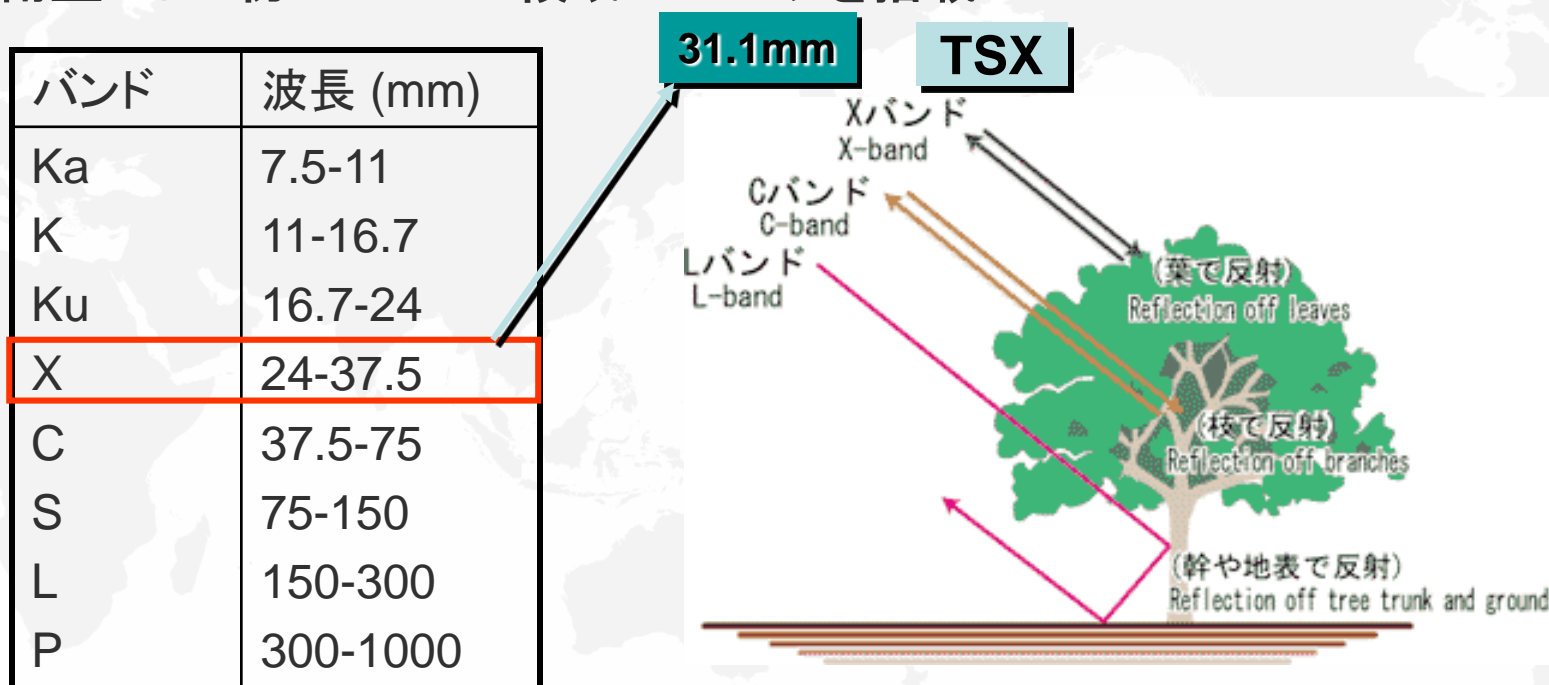
取組体制の全体像:

PPP: DLRとEADS Astrium、infoterra 社が契約
infoterra 社とPASCOが国内独占販売権で契約



Xバンドの散乱特性

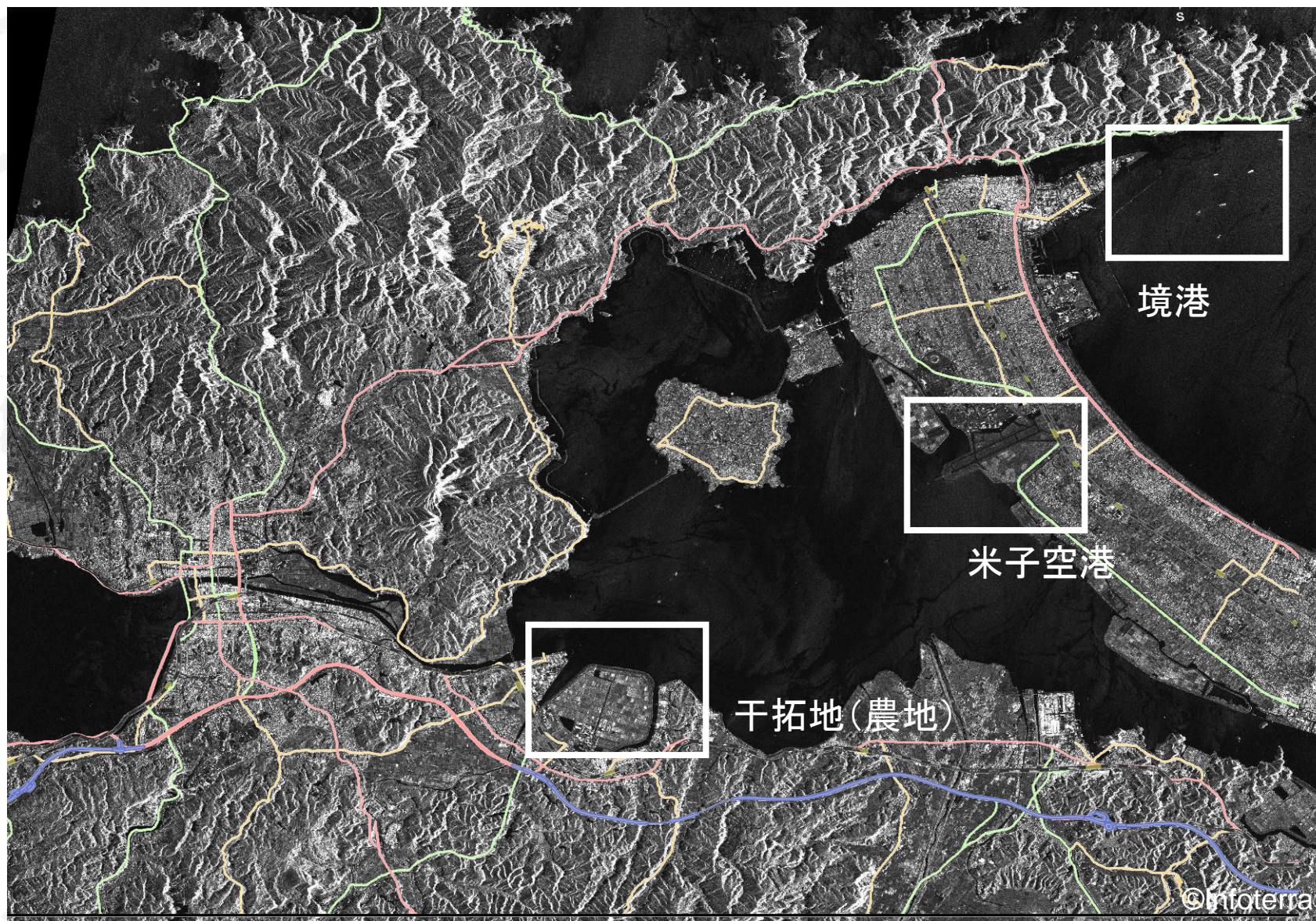
マイクロ波の中でも波長の違いにより、レーダ特性が異なるが、TerraSAR-Xは、商用衛星として初のXバンド領域のセンサを搭載

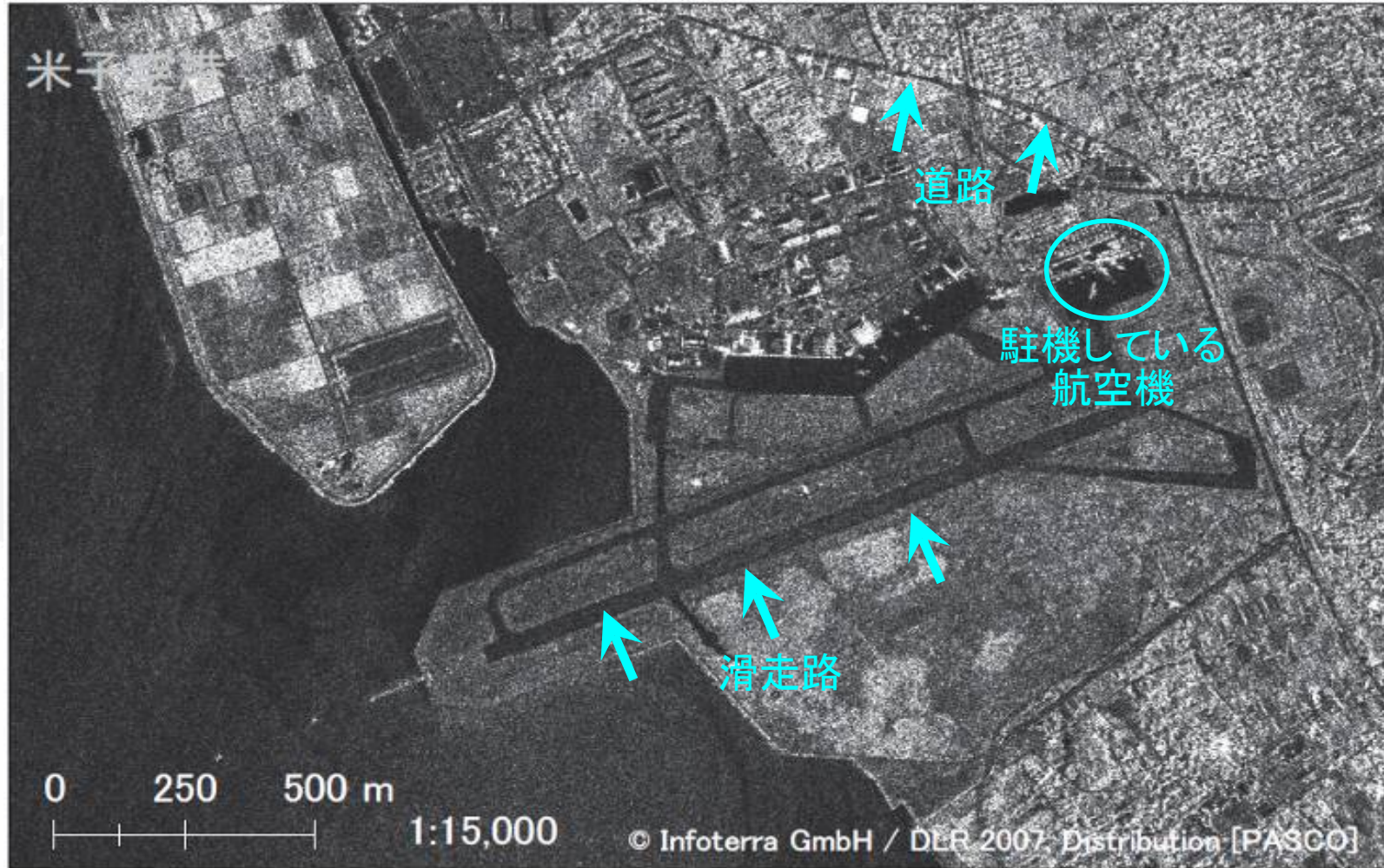


短い波長の電波は、物質の表面で反射しやすく、長い波長の電波は物質内部にある程度入り込む性質を持つ

→ Xバンドは主に、地表面や被覆の情報取得に利用されている

港湾、空港、沿岸施設(中海周辺)





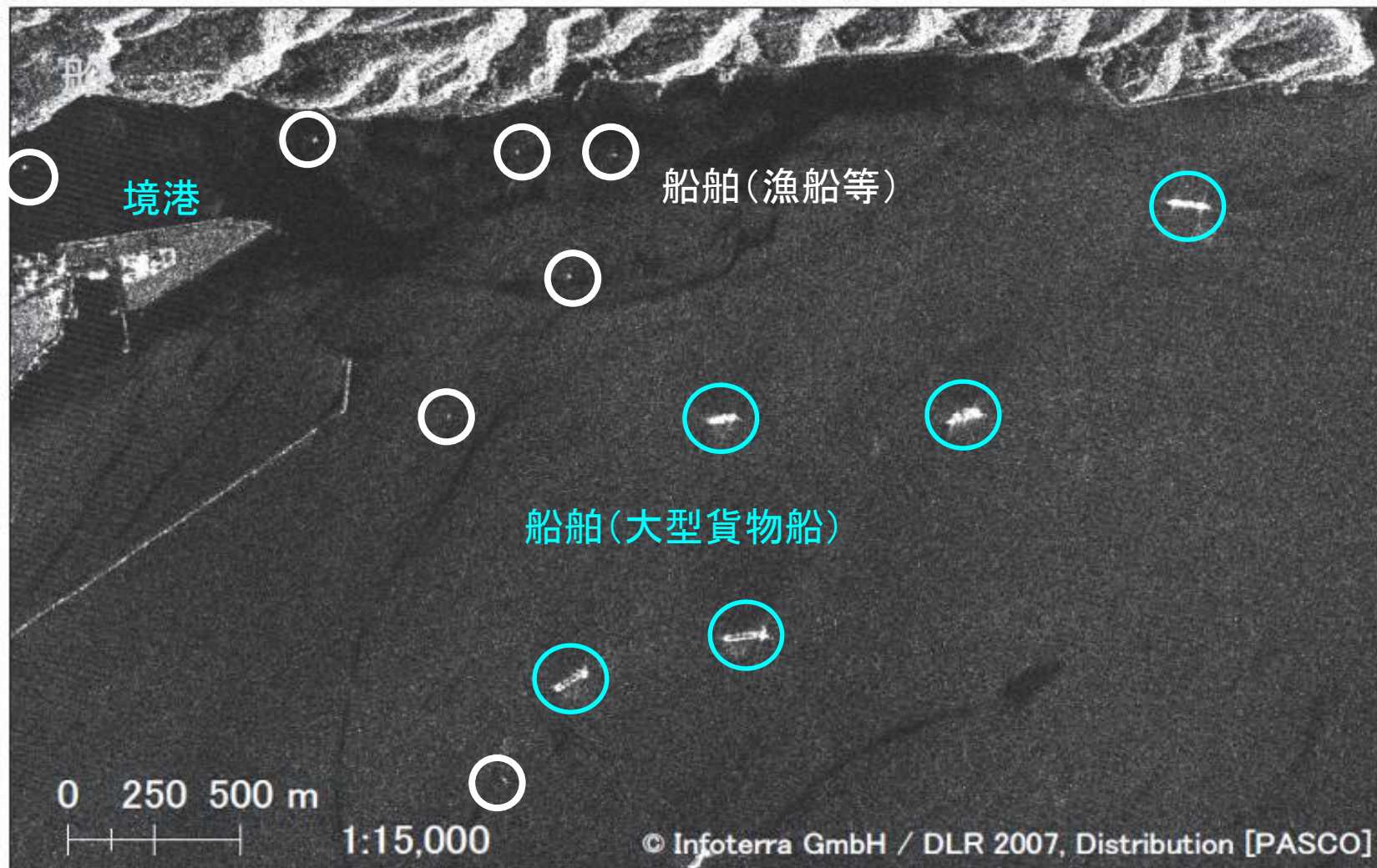
- ②米子空港の状況。滑走路や道路は後方散乱強度が小さいため黒く表示され、形状が把握できる。エプロンに駐機していると思われる航空機の機体を確認できる。

新設の道路施設

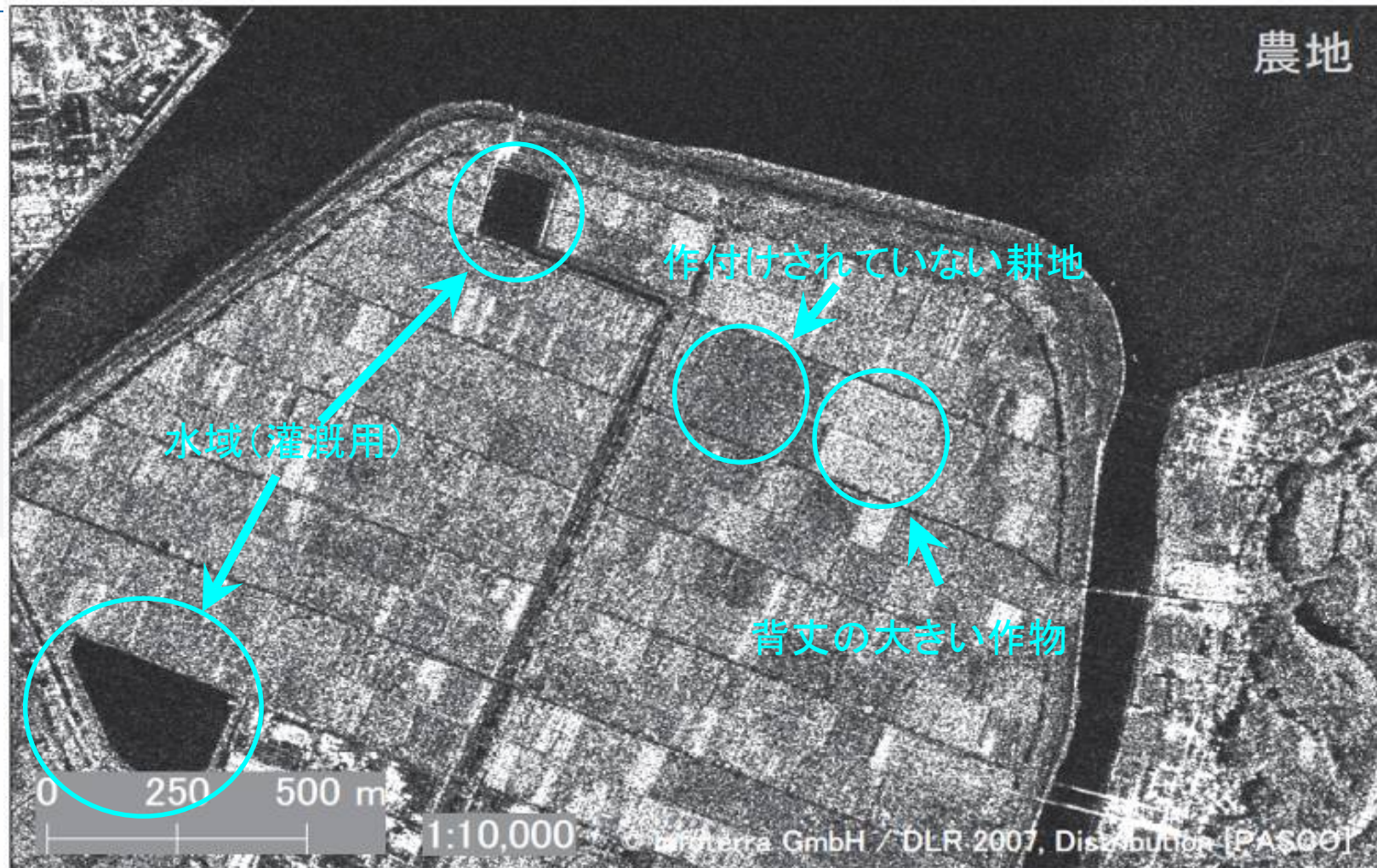


国土地理院 空間データ基盤2500(H.11)との重ね合わせ

大型貨物船と小型船舶



③船舶(大型貨物船)は周囲の海面が暗く写るためとくに明瞭な散乱体として認識できる。



- ④農地の状況。画像上に現れている濃淡(散乱の強弱)やテクスチャは作付けされている農作物の種類及びその生育状況の違いなどによる散乱特性の違いを反映しており、分類等に役立つ。