

An aerial photograph showing a wide river flowing through a densely populated urban area. The buildings and infrastructure appear heavily damaged, with many structures reduced to rubble. Several pink dots are marked on the map, likely indicating specific points of interest or damage. A semi-transparent blue box with white text is overlaid on the upper part of the image.

# 東日本大震災対応で見えてきた課題

沢田治雄 Haruo SAWADA

国土環境安全情報学分野

東大生研 都市基盤安全工学国際研究センター ICUS

# 話題

## Topics

- 国際災害チャーター
  - 衛星機関による撮像
- 実際の衛星観測
  - JAXAの活動を中心に
- 災害時における緊急撮影協定
  - 航測会社による航空写真撮影
- 津波被災マップの作製
  - 航空写真判読
  - 浸水域航空写真地図の配布
- 復興に向けて
  - 被災・復興モニタリング
  - 樹林帯を利用した生活空間確保

Int. Disaster Charter

Satellite Observation

Image Processing

Agreement of Emergency flight

Ortho-photos

Interpretation of Tsunami

Mapping & monitoring

Reconstruction

# 国際災害チャーター Japan Earthquake発動

## Activation of International Disaster Charter

Activated on 11 March, 2011



88 Products on the web site/  
on 23rd April, 2011

Established in 2000  
20 organizations in 2011

# IDCによるデータ提供の特徴

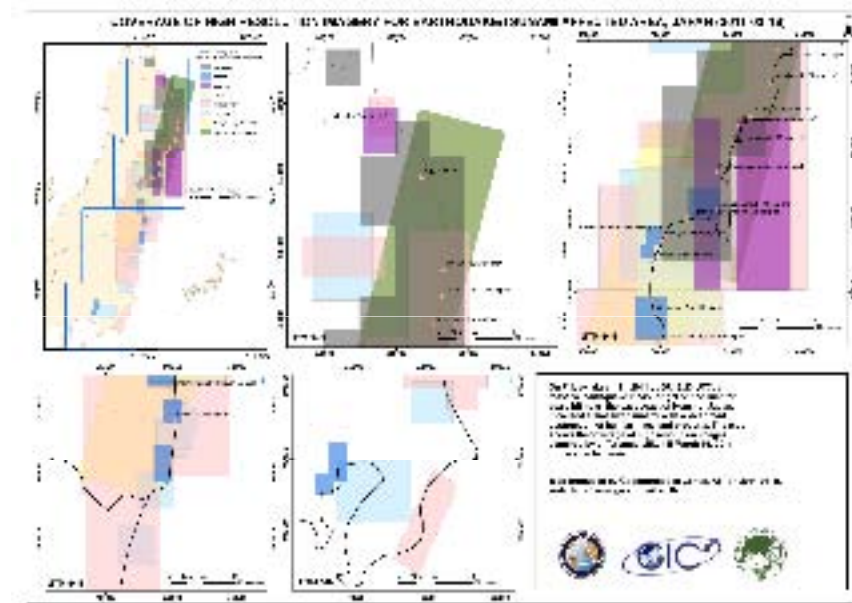
## Remote sensing data provides for IDC

観測頻度、空間解像度、観測スペクトル等の異なる多様なリモートセンシングデータが提供される

災害チャーターが発動されると、

- ・ 衛星を所有する機関が協働して観測を集中させ、処理した成果品を公開する

- ・ 被災者はリモセンデータを処理する必要が無い
- ・ 反面、さらに加工したくても困難



Remote sensing systems are characterized by  
Observation Unit & observation cycle  
Spatial resolution & spectral resolution

# IDCで提供された情報の例

## Example of satellite RS information for IDC

高分解能画像では、災害前後の画像が提供されることが多い

### 注意すべき点：

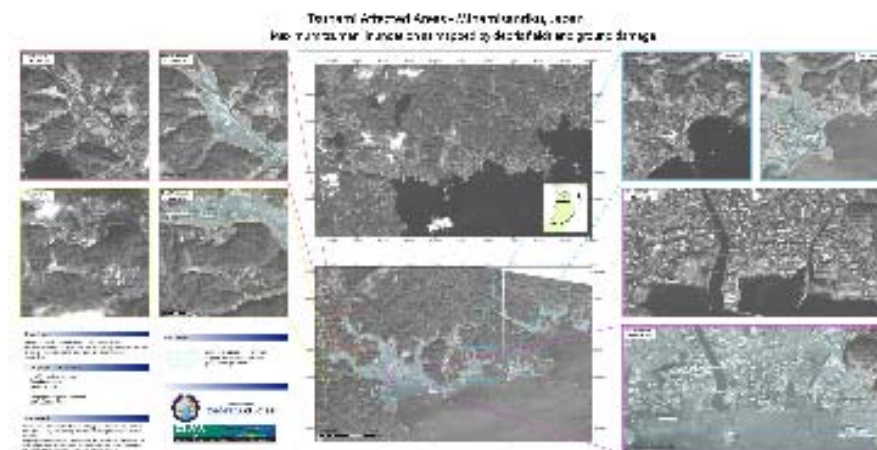
- ・ 機関によって関わり方に差があり、期待した衛星画像が入手できるかどうか不明

- ・ 継続性が担保されていない

- ・ 国内で使われている座標系とは必ずしも同じではないため、他の情報との併用には注意が必要

- ・ 注釈など全て英語

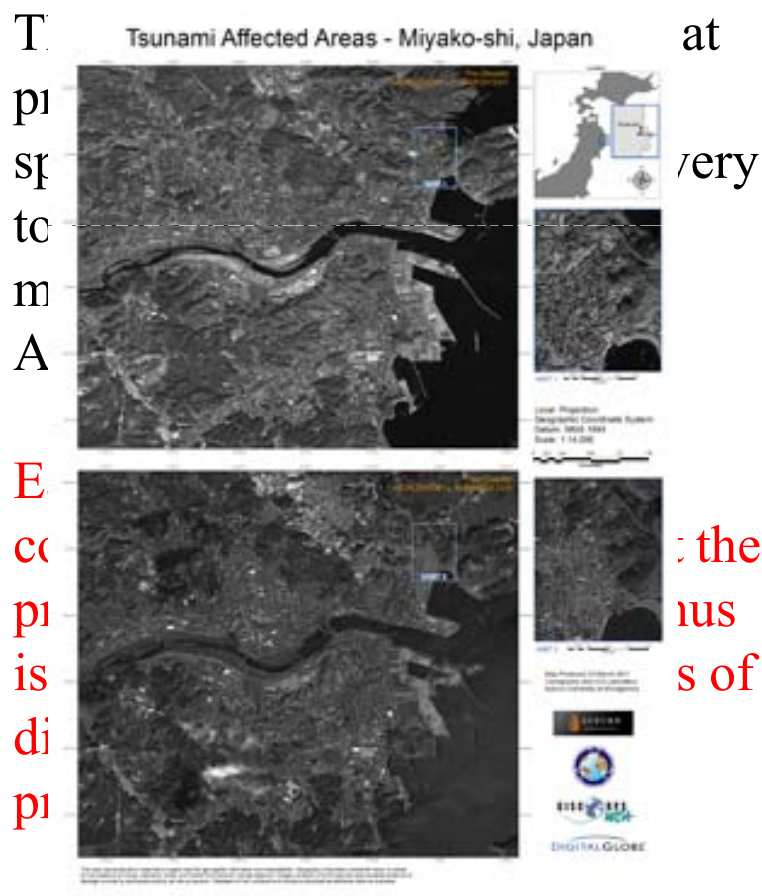
他国向け情報？



# 災害にかかわる国際協力の強化を

## International collaboration for Disaster observation

東日本：最後の画像は3月19日



後は自助努力で？！



米国：洪水：4月28日ー  
 メキシコ：火災：4月12日ー  
 日本：地震：4月11日ー  
 ナミビア：洪水：4月1日ー  
 ニューゼaland：地震：2月22日ー  
 韓国：雪害：2月14日  
 トルコ：地滑り：2月14日ー  
 オーストラリア：サイクロン：2月2日ー  
 モザンビーク：洪水：1月29日ー  
 パキスタン：地震：1月19日ー  
 ブラジル：洪水：1月14日

## 東日本大震災での実際の衛星観測

Satellite observation : Optical sensor

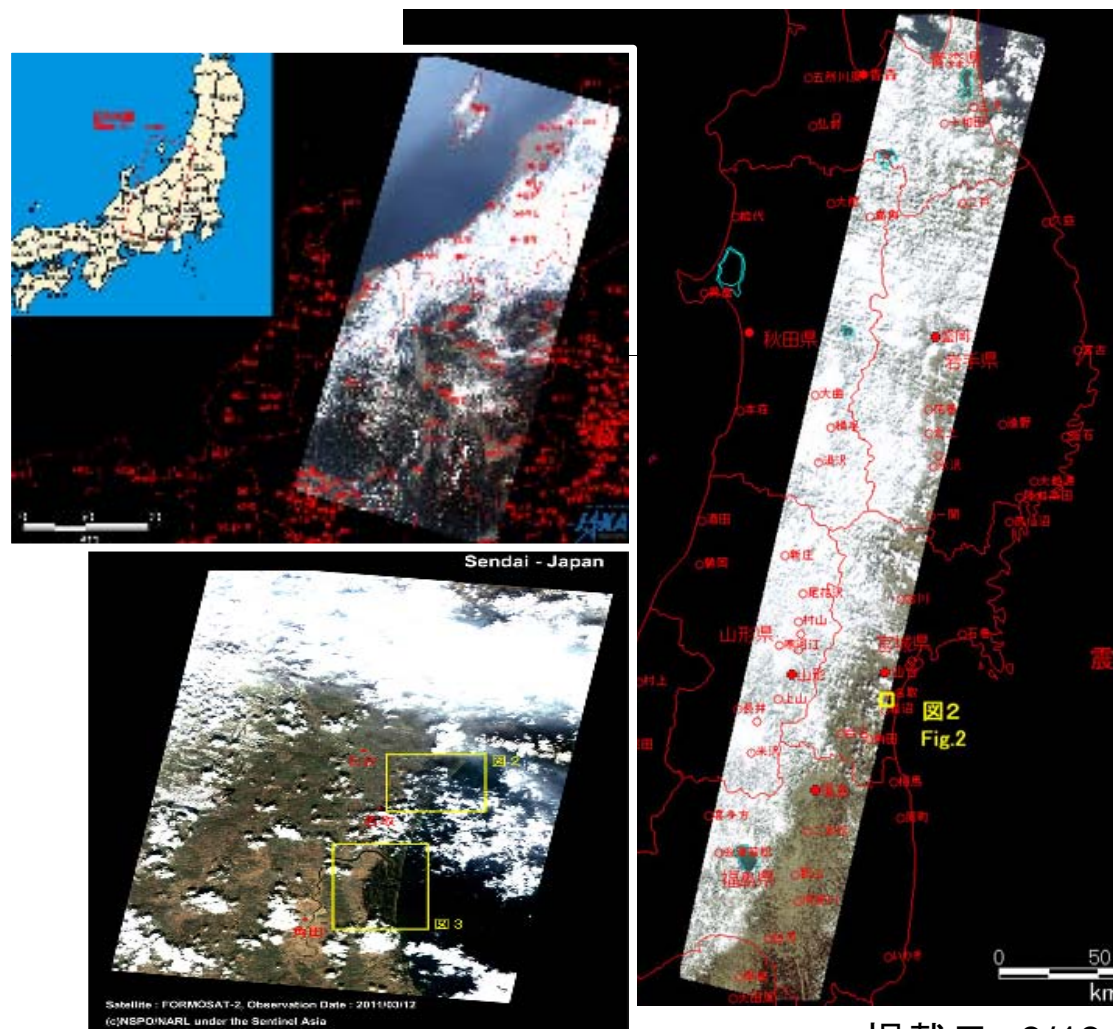
3月13日

ALOS・AVNIR-2によって  
本州を縦断する範囲のデータ  
が得られた

・雲のために観測できない場  
所が多かった

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)によ  
る東日本大震災の緊急観測結果より抜粋

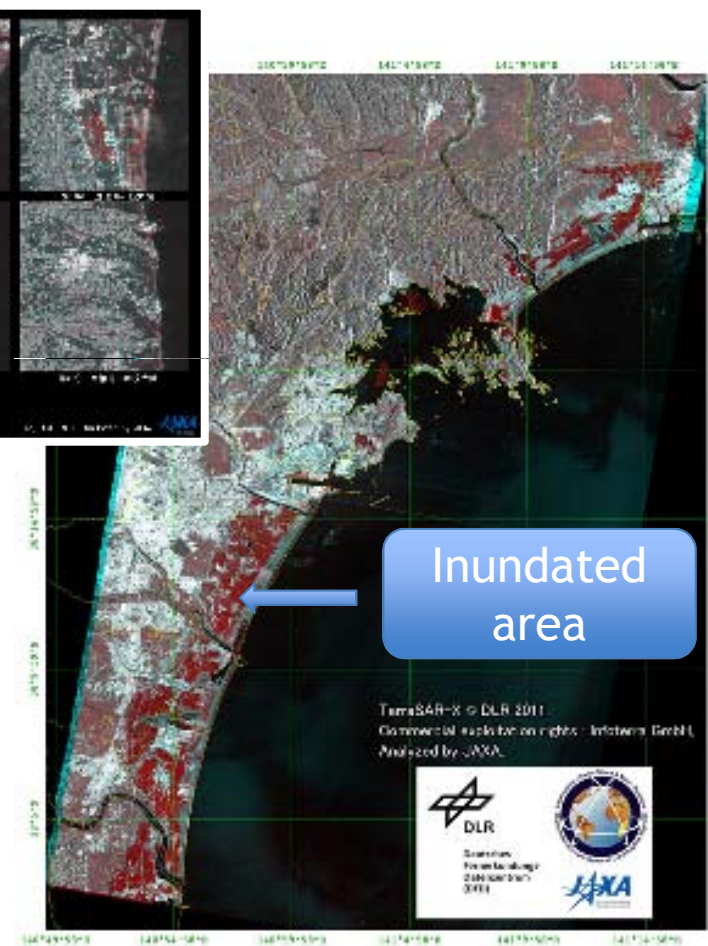
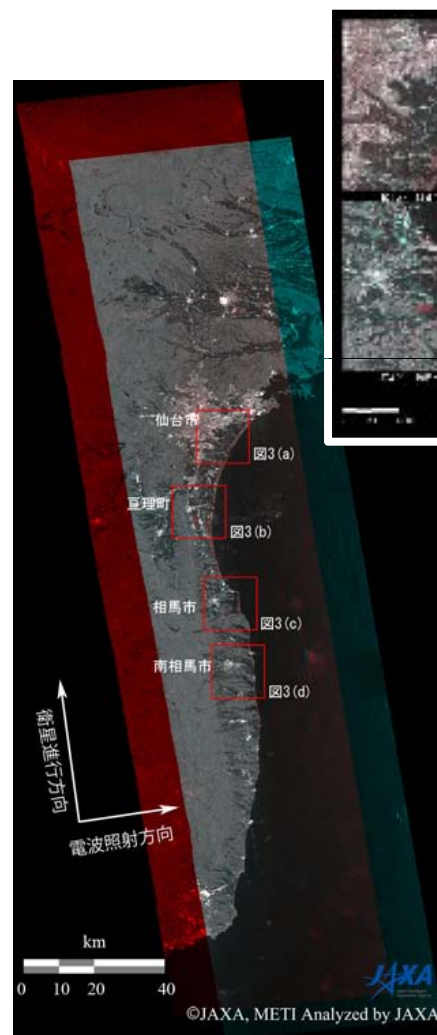
[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_opt\\_tohokueq\\_110324-3.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_opt_tohokueq_110324-3.htm)



# 衛星データの利用: 合成開口レーダ

3日後

## Satellite Data: Synthetic Aperture Radar (SAR)



# 衛星による継続的監視

## Continuous Monitoring by Satellites

衛星だいち (ALOS) の  
AVNIR2は、海岸沿いを同  
じ日に連続的に観測する

- ・ 広域の被害状況を同時に把握できる

- ・ 雲の影響で地上が見えないことも多い

空間分解能10m(直下)

観測幅70km

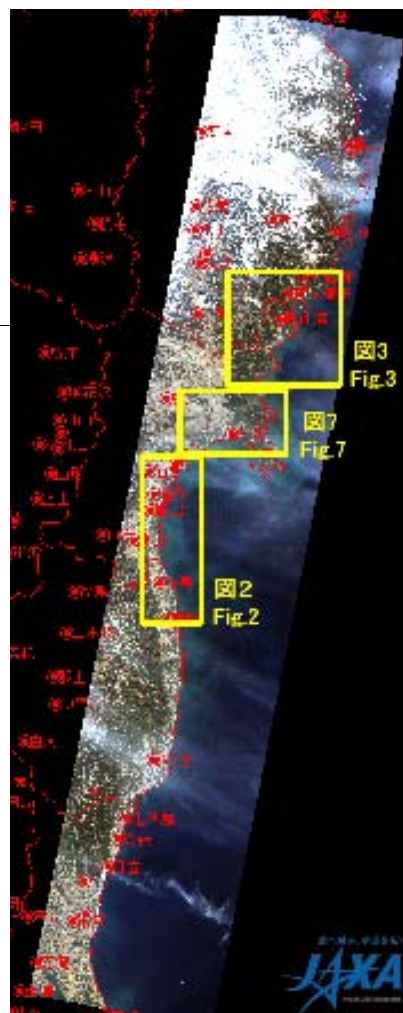
ポンティング $\pm 44$ 度

Band1 :  $0.42 \sim 0.50\mu\text{m}$

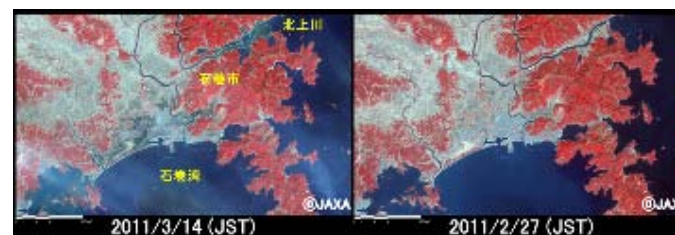
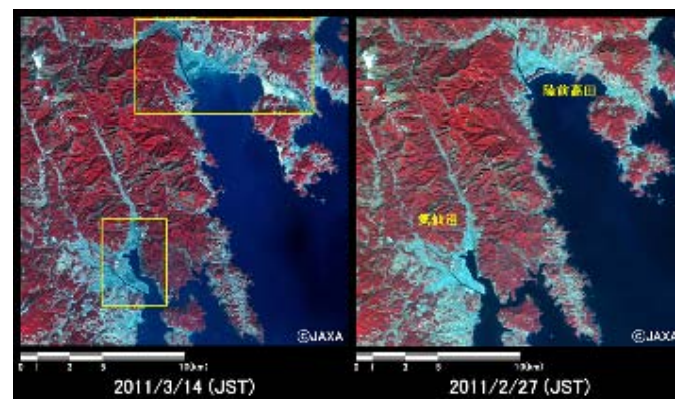
Band2 :  $0.52 \sim 0.60\mu\text{m}$

Band3 :  $0.61 \sim 0.69\mu\text{m}$

Band4 :  $0.76 \sim 0.89\mu\text{m}$



ALOS・AVNIR2 ,14 March



# 衛星による広域の被災地マップ

4日後

Overall observation by satellite Remote Sensing

合成開口レーダTerraSAR-Xによる  
観測画像

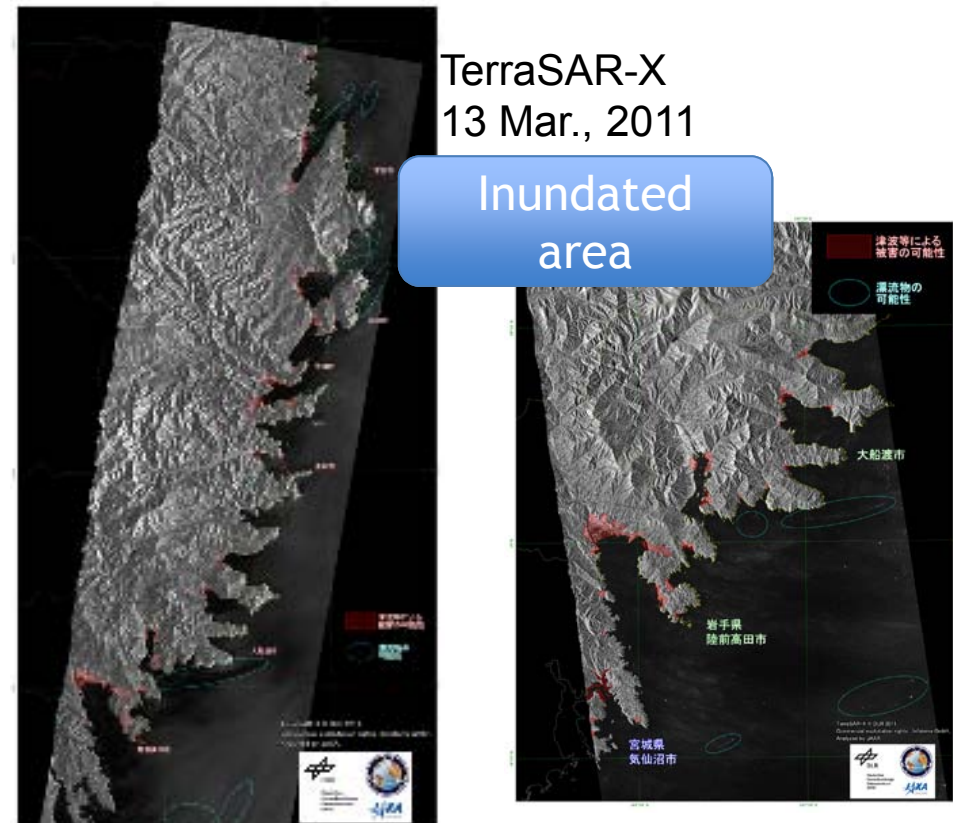
- ・ SARの判読には専門的知識が必要だが、雲の影響を受けずに地上が観測できる
- ・ 被害程度を広域で比較可能
- ・ 冠水域の把握は容易
- ・ 被災地から連絡が無くともリストアップ可能



全域の迅速な把握可能



連絡できない激害地の発見・通報



# 地殻変動マッピング

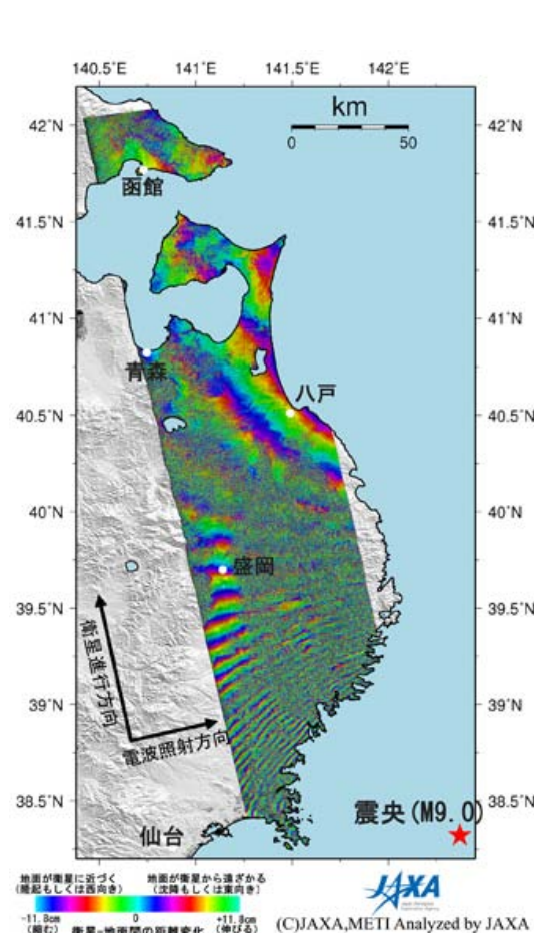
## Impact of crustal movement

地震前後に取得したPALSARデータの差分干渉解析(DInSAR解析)  
 ・震央に近い海岸部では干渉縞が混んでおり、大きな地殻変動があった  
 ・宮城県北部沿岸(石巻市周辺)で少なくとも3m以上の衛星から遠ざかる地殻変動(沈降や東方向へのずれ)があったことがわかる

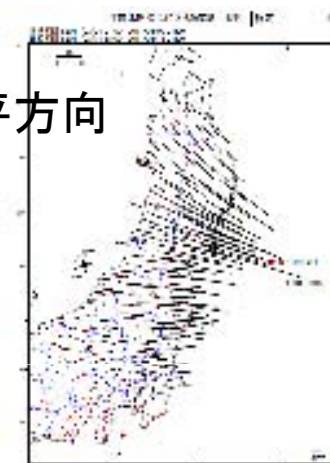
国土地理院：

GPS衛星の連続観測を行う電子基準点を全国1,240箇所に約20kmの間隔で設置

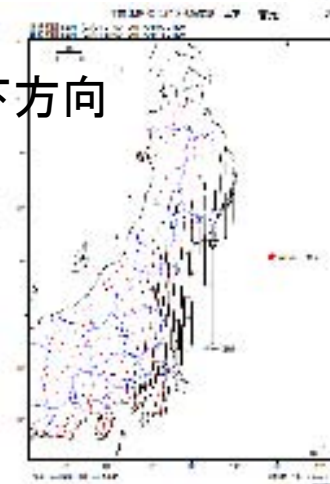
・3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、最大で水平方向に約5.3m、上下方向に約1.2mという地殻変動が観測された。



水平方向



上下方向



掲載日3/16

# 衛星による継続的監視

## Continuous Monitoring by Satellites

地震後の2011年3月16日と3月14日、地震前の2011年2月23日に観測された画像から、福島県いわき市勿来付近を拡大したもの

依然、黄枠内の河口部分が流されている様子および海岸線沿いの平野部が冠水している



福島県いわき市勿来付近の様子(約5km四方)

地震後の2011年3月16日と3月14日、地震前の2011年2月23日に観測された画像から、福島県いわき市小名浜付近を拡大したもの

依然、黄枠の平野部が冠水している様子が見られる

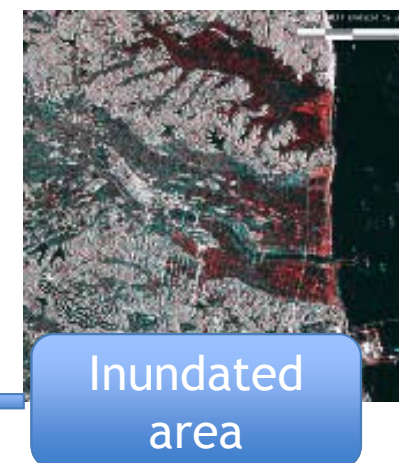
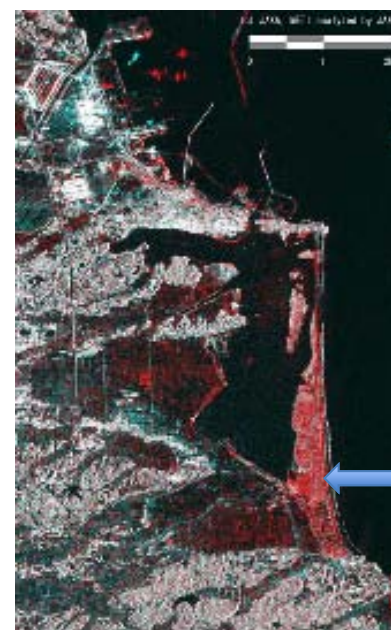
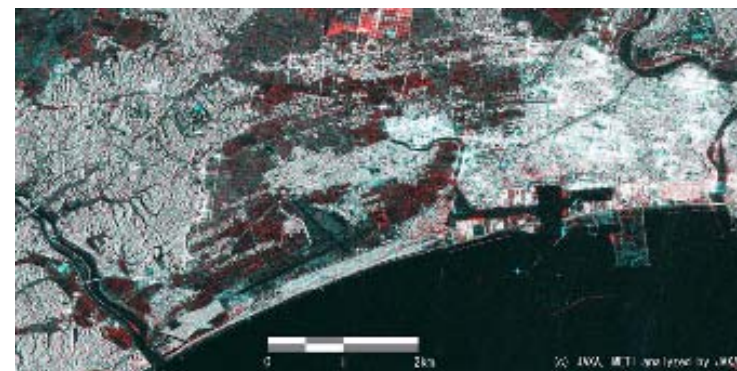
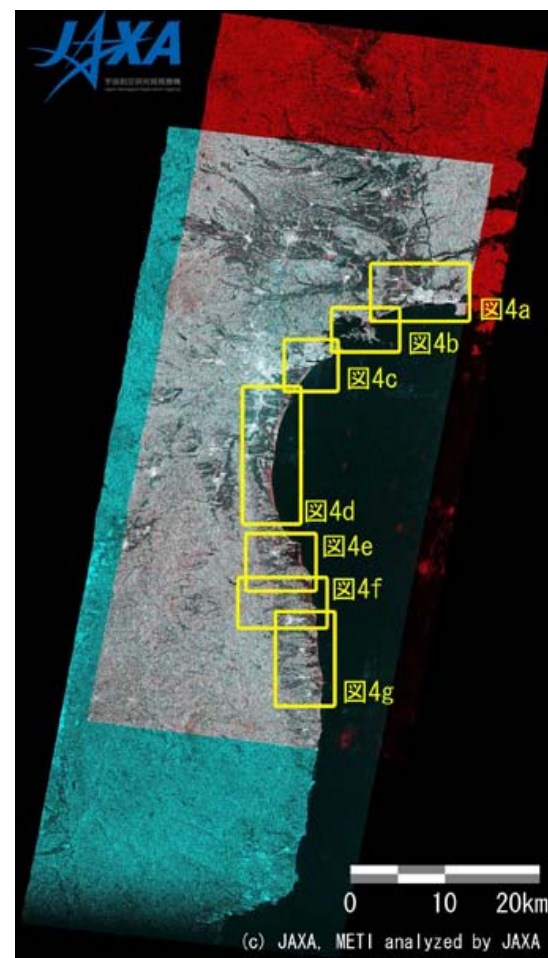
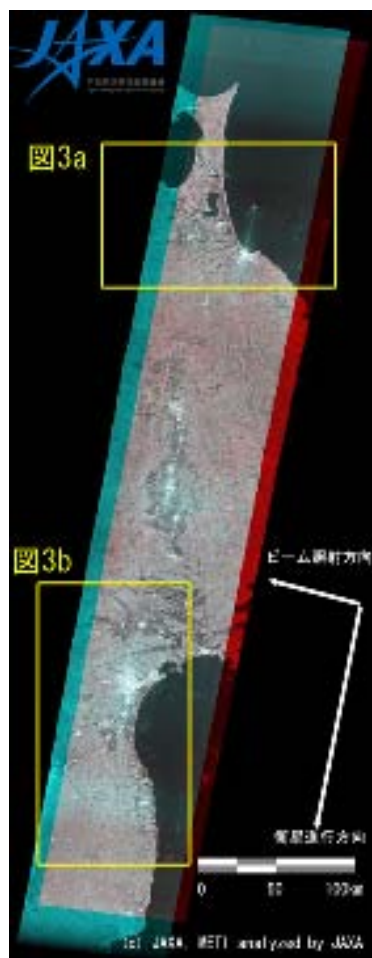


福島県いわき市小名浜付近の様子(約5km四方)

## SARによる冠水域モニタリング

7日後

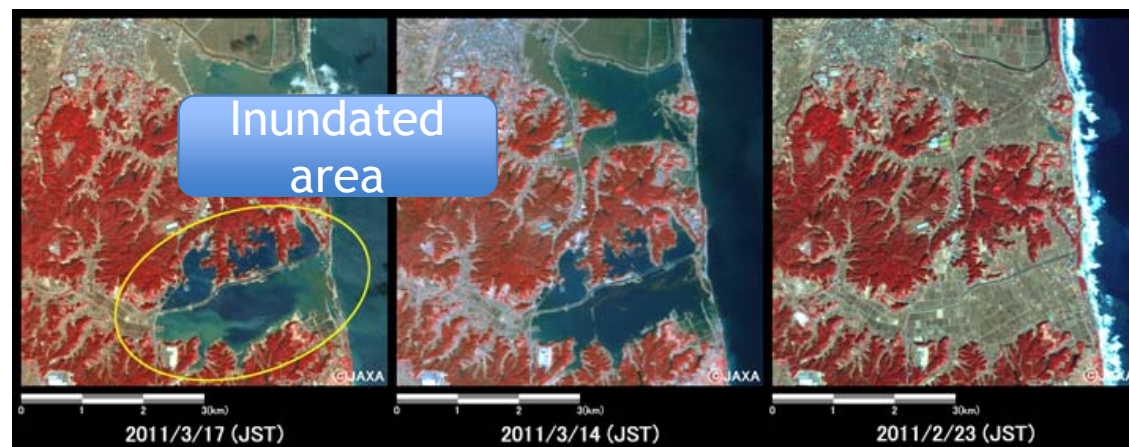
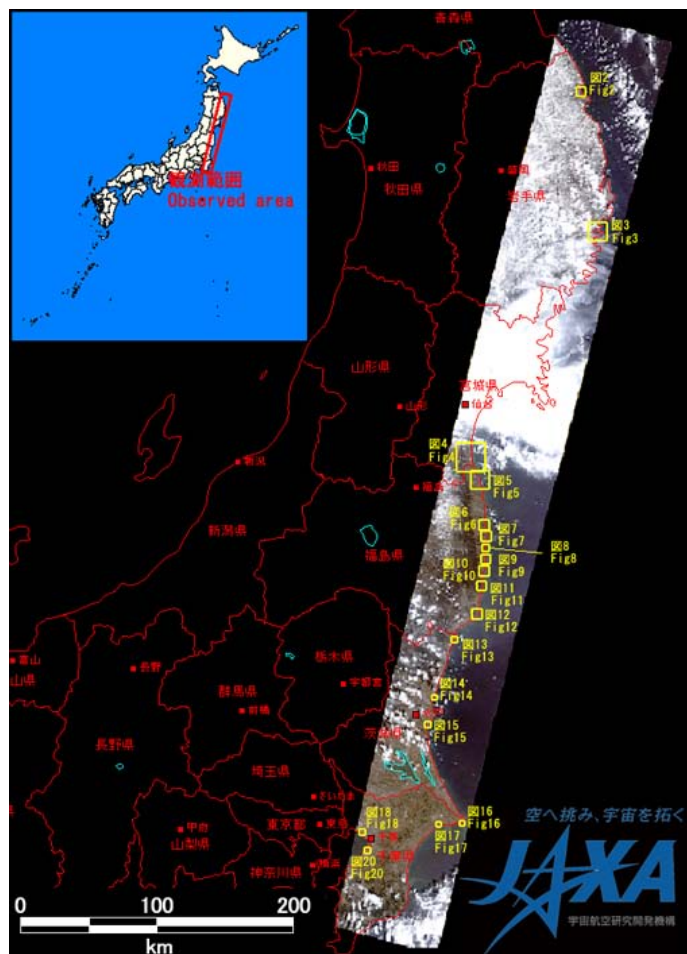
## Inundation Monitoring by SAR



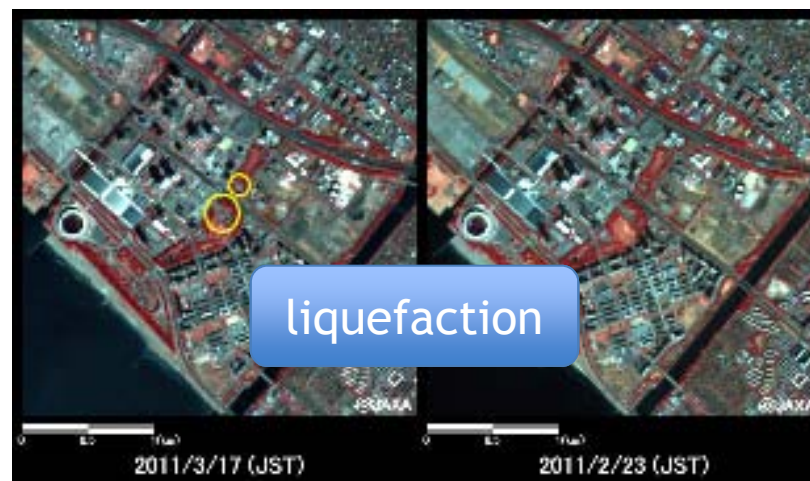
## 衛星による継続的監視

7日後

## Continuous Monitoring by Satellites



福島県南相馬市付近の様子(約6km四方)



千葉県幕張海浜公園の様子(約3km四方)

液状化

掲載日3/18

## SARによる冠水面積の推定

10日後

## Estimation of Inundation area by SAR

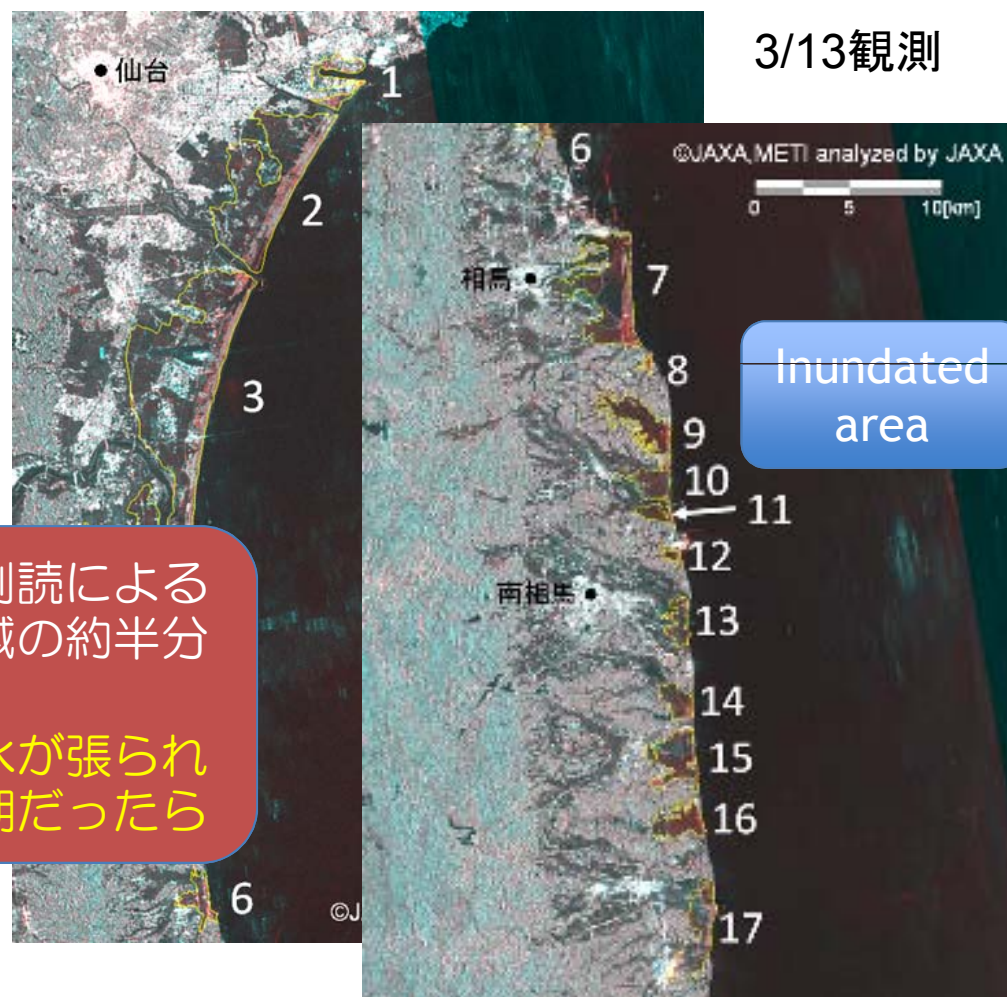
震災後の3月13日22時11分頃に観測されたデータと震災前(2011年3月3日)観測のデータを比較して、津波による浸水域と思われる領域を抽出

| 番号 | 県名  | 地域名        | 面積[km <sup>2</sup> ] |
|----|-----|------------|----------------------|
| 1  | 宮城県 | 仙台塩釜港      | 3.7                  |
| 2  |     | 名取川北部      | 24.3                 |
| 3  |     | 名取川南部      | 43.3                 |
| 4  |     | 亘理町        | 13                   |
| 5  |     | 山元町        | 20.7                 |
| 6  |     | 新地町        |                      |
| 7  | 福島県 | 相馬市        |                      |
| 8  |     | 相馬市南部      |                      |
| 9  |     | 相馬市-南相馬市境  |                      |
| 10 |     | 南相馬市鹿島     |                      |
| 11 |     | 南相馬市真野川南   |                      |
| 12 |     | 南相馬市原町火発南  |                      |
| 13 |     | 南相馬市原町     |                      |
| 14 |     | 南相馬市原町区米々沢 | 2.0                  |
| 15 |     | 南相馬市小高区小高  | 5.5                  |
| 16 |     | 南相馬市小高区浦尻  | 3.8                  |
| 17 |     | 浪江町-双葉町    | 7.1                  |

\*元々大部分が水域であるため面積を算出してない。

航空写真判読による  
津波到達域の約半分

?水田に水が張られて  
いる時期だったら



# SARによる漂流物の検出

12日後

## Detection of floating objects by SAR

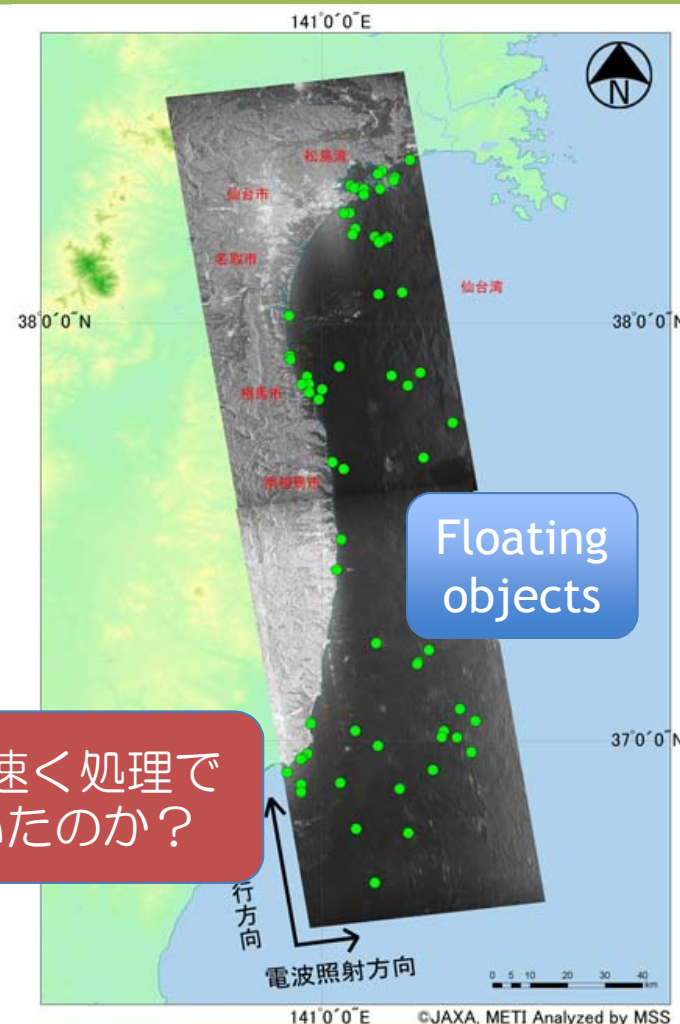
3月13日22時11分頃に観測したPALSAR画像

この観測はオフナディア角46.6度と比較的高い入射角で取得されており、海面からの散乱が低く抑えられ、漂流物の検出に適している(7.2~51.4度可変)

- ・ 合計66個の漂流物が検出された

取得された画像は、内閣府を始めとする防災関係省庁並びに地方自治体等に提供されている

| No. | Latitude     | Longitude     | size[m] |
|-----|--------------|---------------|---------|
| 1   | 37:28:56.136 | 141:02:47.881 | 178.19  |
| 2   | 37:24:33.980 | 141:02:08.591 | 14.8    |
| 3   | 37:14:01.029 | 141:07:47.649 | 14.8    |
| 4   | 37:13:01.799 | 141:15:24.528 | 89.41   |
| 5   | 37:11:17.243 | 141:13:48.132 | 192.93  |
| 6   | 37:11:01.883 | 141:13:42.684 | 73.99   |
| 7   | 37:04:33.818 | 141:19:50.145 | 177.56  |
| 8   | 37:02:50.861 | 141:22:03.911 | 62.75   |
| 9   | 37:02:29.312 | 140:58:24.504 | 14.8    |
| 10  | -            | -             | 46.78   |

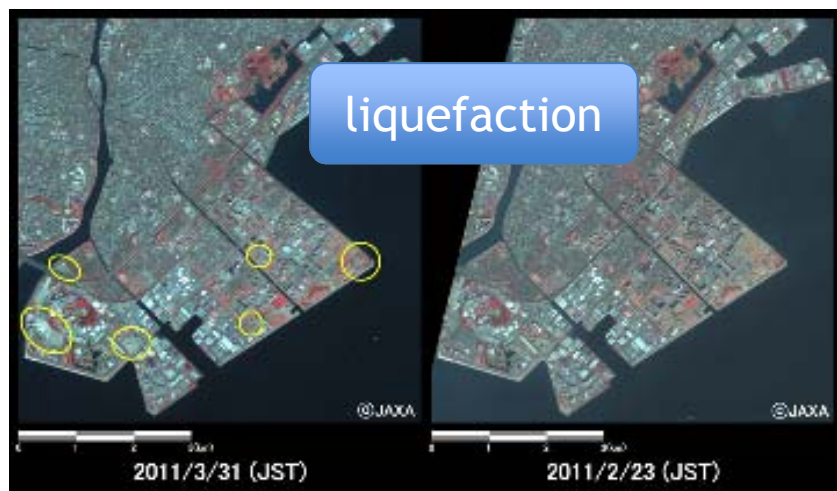


# 斜面崩壊と液状化

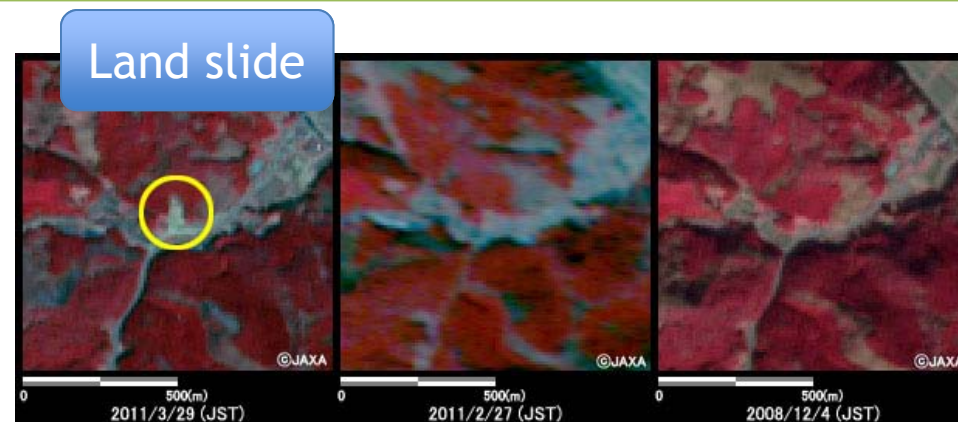
## Landslide and Liquefaction

左図：黄色で示した箇所では**土砂崩れ**で植生が失われたと考えられる

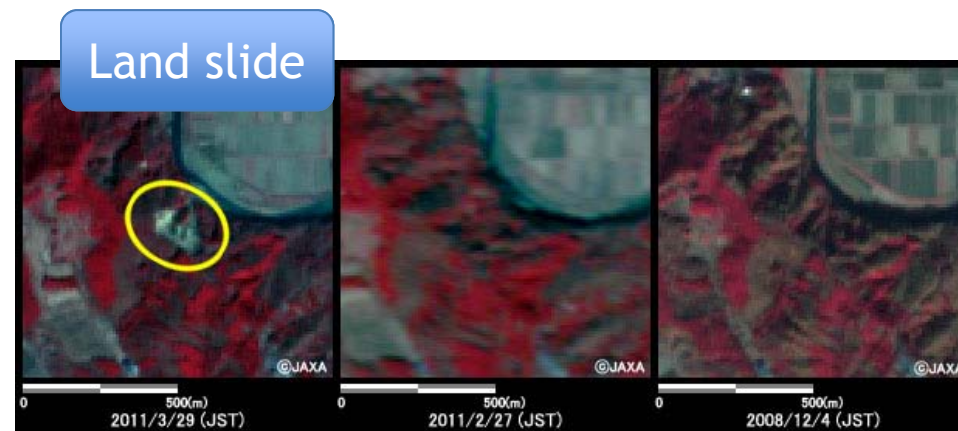
下図：黄枠で示した箇所では明るい灰色に変化している。これらは**液状化**により地中の水分を含んだ砂などが地表を覆っているためと考えられる。



千葉県浦安市の様子(約7km四方)



福島県白河市岡ノ内地区の様子(約1km四方)



栃木県那須烏山市阿久津地区付近の様子(約1km)

# 衛星に期待する継続的監視

できる？

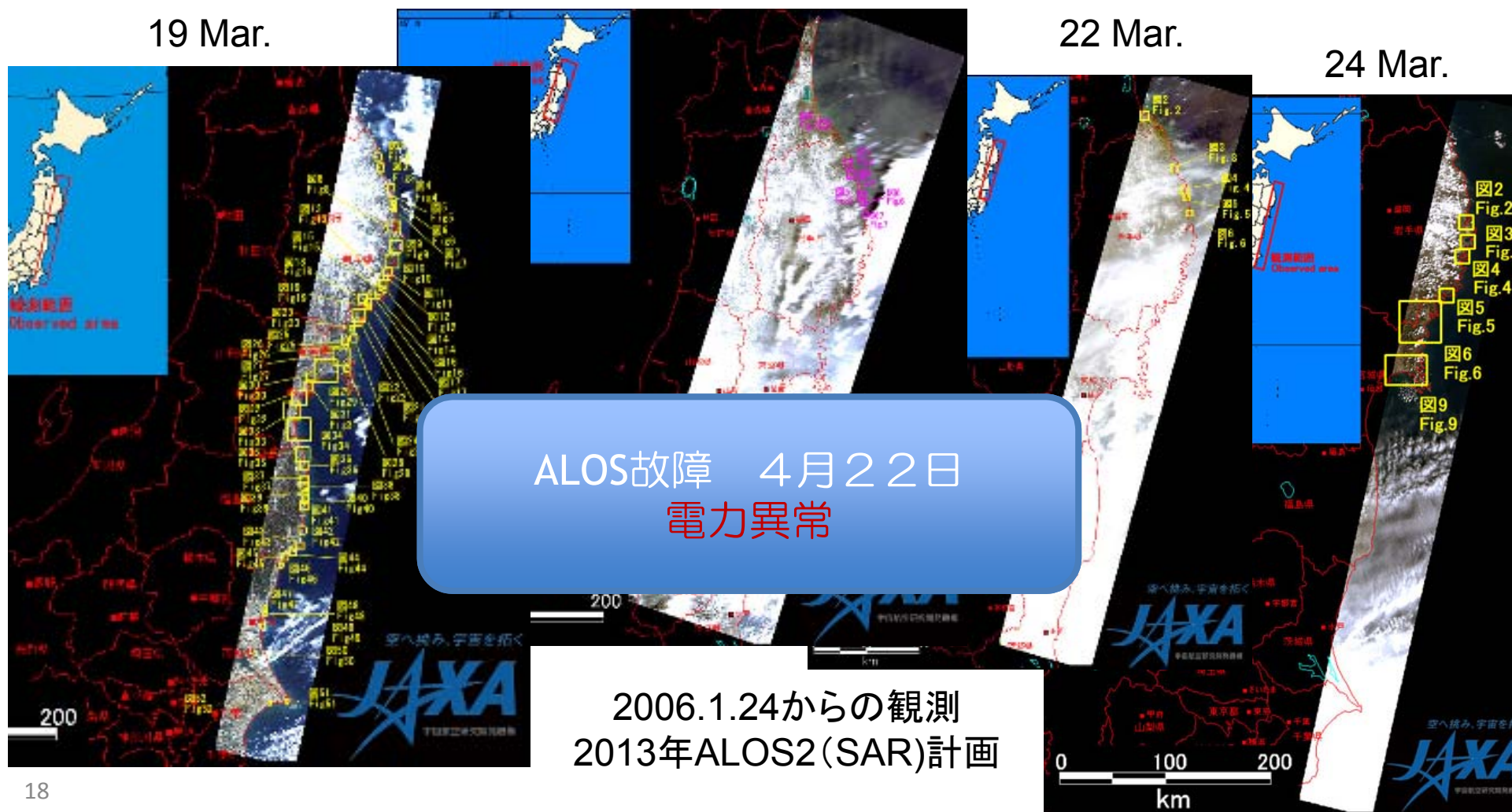
## Continuous Monitoring by Satellites

20 Mar.

19 Mar.

22 Mar.

24 Mar.



# 高頻度観測衛星による生育モニタリング

Daily monitoring by global observation data

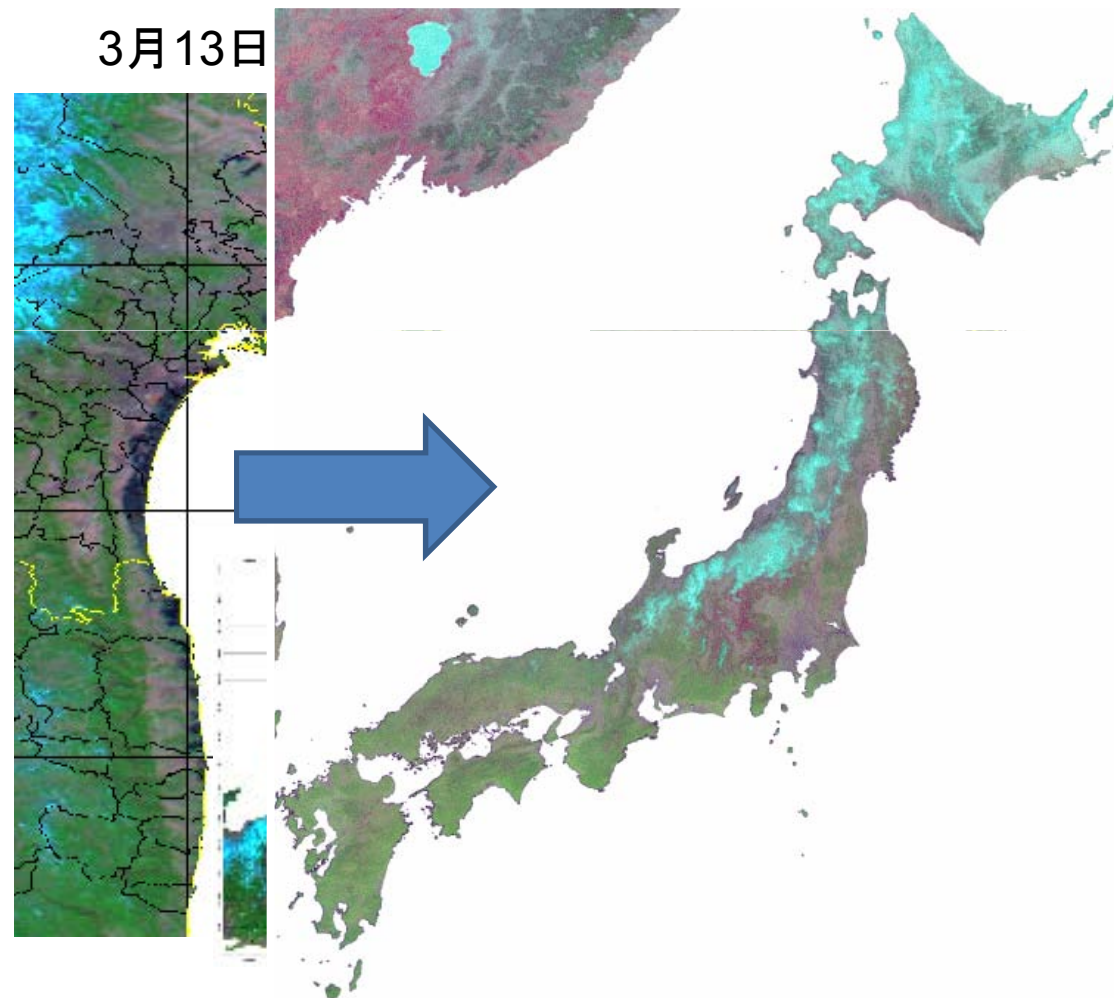
衛星TerraとAquaに搭載されているMODISセンサでは毎日被災地域を観測できる。

(3月13日と4月5-6日は、極めて雲の少ないデータが得られた)



時系列的な変化を観測することで津波の浸水を受けた農作地の生育状況等の広域把握に活用

(地上分解能250m)



# 災害時における緊急撮影に関する協定に基づく撮影

## Agreement on emergency photo-flight for great disaster

- According to the “agreement with GSI on emergency photo-flight for great disaster, aerial photos are taken immediately after the events by Japanese survey companies
- Related companies
  - 朝日航洋株式会社
  - アジア航測株式会社
  - 株式会社エイテック
  - 国際航業株式会社
  - 中日本航空株式会社
  - 株式会社パスコ
  - 株式会社八州



# 航測会社による斜め写真

## Oblique photograph

各航測会社は、斜め航空写真も撮影した。

これによって迅速に広域の概況を捉えることができた。

They quickly provided us synoptic view of the disaster.

これらの斜め写真は各航測会社のwebサイトで閲覧できる。

ただし、そのオープンの仕方には当初温度差があった



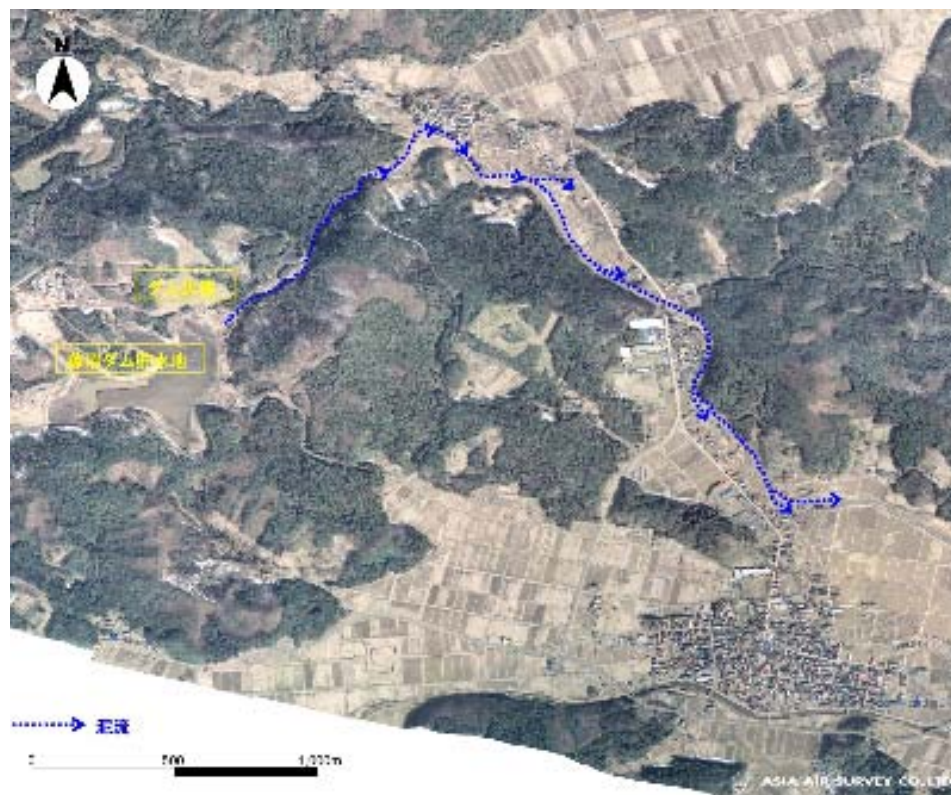
アジア航測(株)

# 地震被害の航空写真

## Washout of Fujinuma Dum

- 藤沼ダム（高さ17.5m）が3月11日の地震直後に決壊
- 泥流がダム下流3km以上の長沼地区に到達
- 本写真は3月14日に撮影したデジタル航空カメラ（DMC）画像を解像度約1mまで下げて広域をオルソ化したもの

地震被害の空中写真提供は津波被害に比べて極端に少ない



アジア航測(株)

# 津波被害の撮影

## Aerial Photo of Tsunami affected area

地震の翌日から、航測会社によって、  
協定に基づく緊急撮影が行われた。

撮影月日

- 3月12日、13日、19日、
- 4月1日、5日

提供されている写真

- モザイク写真
- 正射写真（オルソフォト）

Useful for 1:5,000



国土地理院 GSI

# 被災前後の航空写真比較

## Pre- and post- Tsunami :Aerial photos by GSI

都市部の航空写真は国土地理院によって概ね5年ごとに撮影されている

比較判読によって、被災の状況を詳細に知ることができる  
It is a good way to compare pre- and post- event photos to know the impact of the disaster

- ・ 被災した家を数えられる
- ・ 田畑が水や瓦礫で覆われている
- ・ 跡形も無い海岸林と残存する海岸林がある

仙台市若林区荒浜周辺の被災状況  
(新旧画像)

被災前(平成18年10月撮影)



被災後(平成23年3月12日撮影)



GSI 国土地理院

# 被災前後の空中写真比較

Pre- and post- Tsunami : Aerial photos by GSI

古い写真との比較は、良い  
情報をもたらすか？

右の写真は36年前の写真  
との比較？



以前の情報がすぐに  
準備できない？！

石巻市南浜町周辺の  
被災状況(新旧画像)



被災前(昭和50年9月撮影)



被災後(平成23年3月12日撮影)



# 津波到達ライン

## Visual interpretation of water-logged area on orthophotos

津波到達ラインを航空写真で判読した。その際、**瓦礫の存在を目安として判読した**

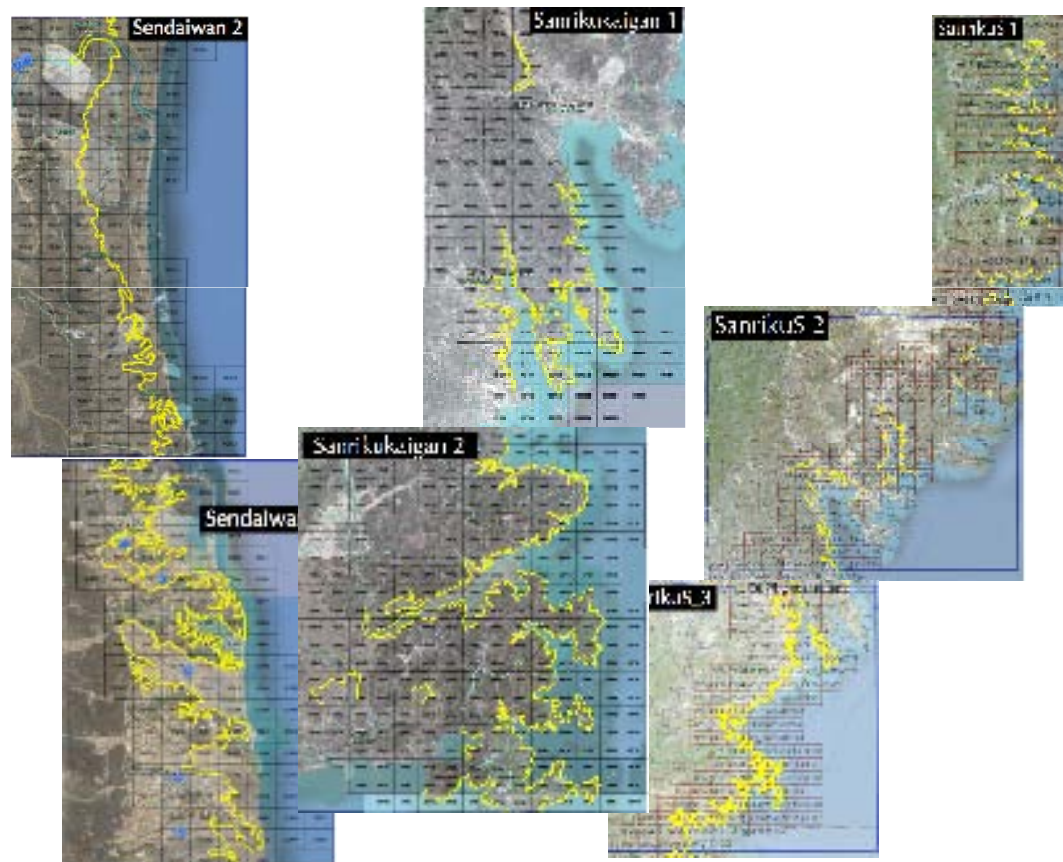
- ・津波到達ラインは海岸と平行ではない

- ・地形、河川、田畑、被覆物によって到達域が異なっている

求む！

津波到達エリアの判定を可能にする瓦礫自動認識システム

Interpretation by SEIKEN group



# 判読精度の向上：クロスチェック

## Cross check with other data sets

津波到達ラインの判読を、国土地理院のオルソフォトで実施（原画の画素は80cm）

- ・被害把握とともに復興計画への利用を考慮して、縮尺1万分の1の地図で利用できる情報とすることを目標とした（許容10m）

- ・瓦礫が重要なインジケータとなった
- ・道路の白線の視認も目安となった
- ・樹林内は到達域の判定が困難



最終的に、国土地理院の立体視判読結果（目標縮尺20万分の1）とのクロスチェックを行い、大きな見落としが無いことを確認：  
どちらにも相当の見落としがあった  
生研の判読の方が約10%浸水面積が広い

## Comparison with GSI products

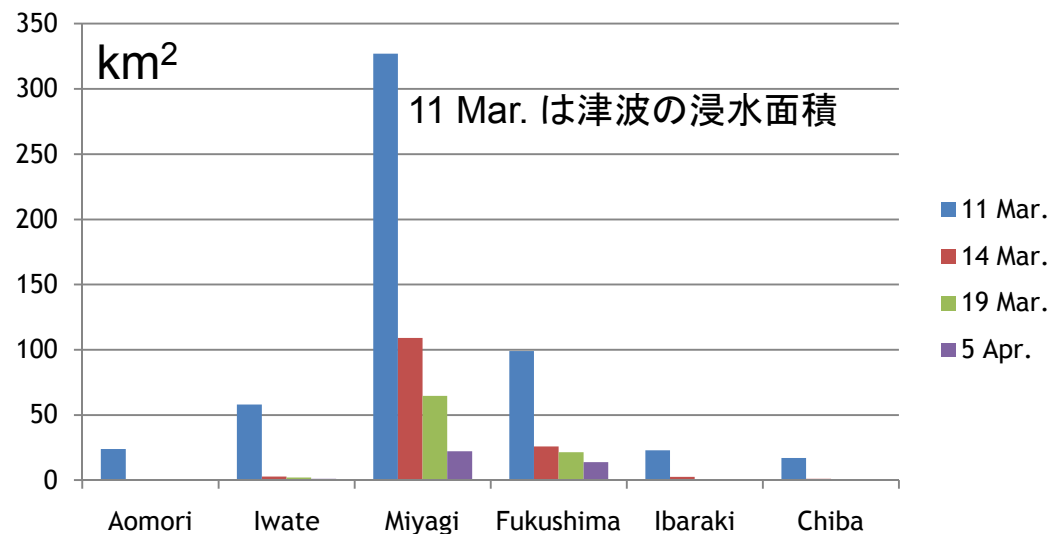


# 衛星データによる冠水期間の把握

## Duration of inundation

### 冠水域の変化

- ・冠水期間は今後の農耕に大きな影響を与えるであろう
- ・高分解能SARで捉える事が最も簡便



宮城県、福島県の7市町での比較では、JAXAによる衛星での冠水推定面積は、地理院の航空写真判読による浸水域面積の約半分だった(63:118)  
 浸水域：地理院561km<sup>2</sup>（生研では約10%多い：山手線内の約10倍）

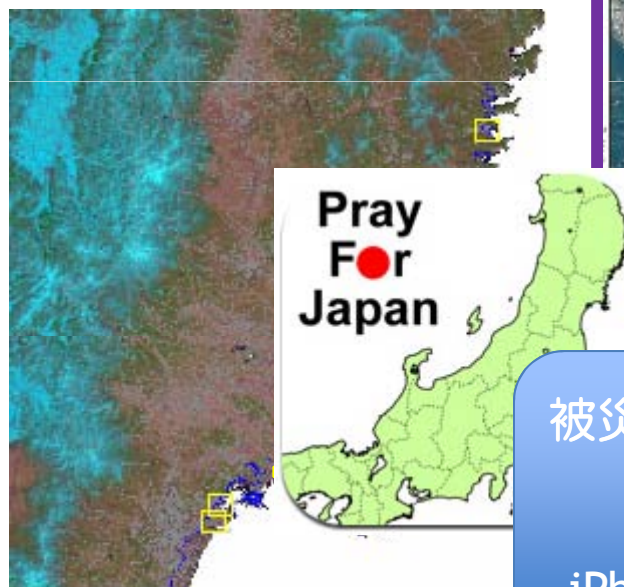


# 浸水域航空写真地図の作製と配布

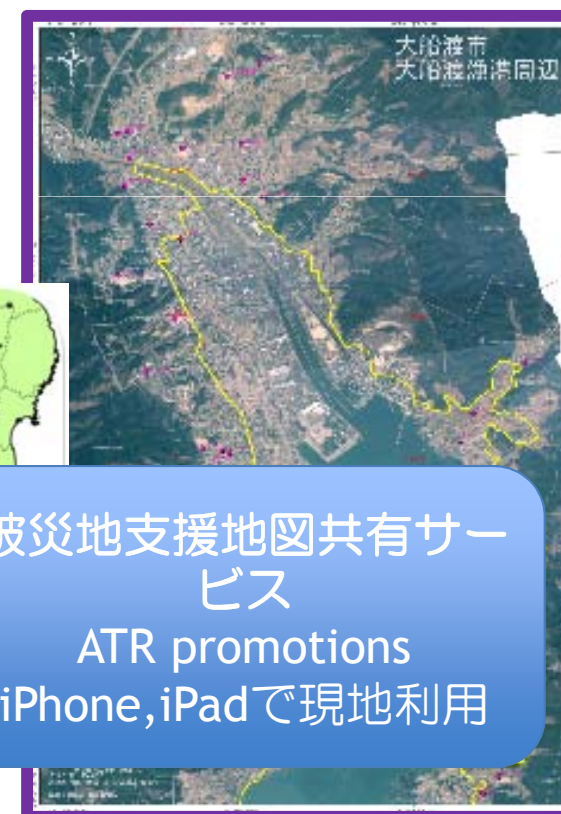
Aerial photo map of the Tsunami line 1:10,000

被災後のオルソ航空写真に津波到達ライン、町丁目名とその境界線、避難場所などの情報を加えた「浸水域航空写真地図（縮尺1万分の1）」を作製・配布している

- ・市町村での利用
  - 被災地の確認
  - 復興計画
- ・ボランティアの利用
- ・遠隔地の人の利用（PCで）



浸水域航空写真地図  
（縮尺1万分の1）



復興段階での頻繁な  
updateが必要



衛星写真地図



# 復興に向けて

## Toward reconstruction

### ◎市町村レベル：

町丁目単位の被災リスト

復興計画のための地図提供

樹林を利用した生活空間の確保

復興段階で最新の地図を提供

被災から復興へのモニタリング

復興の進行に伴う地図の頻繁な更新

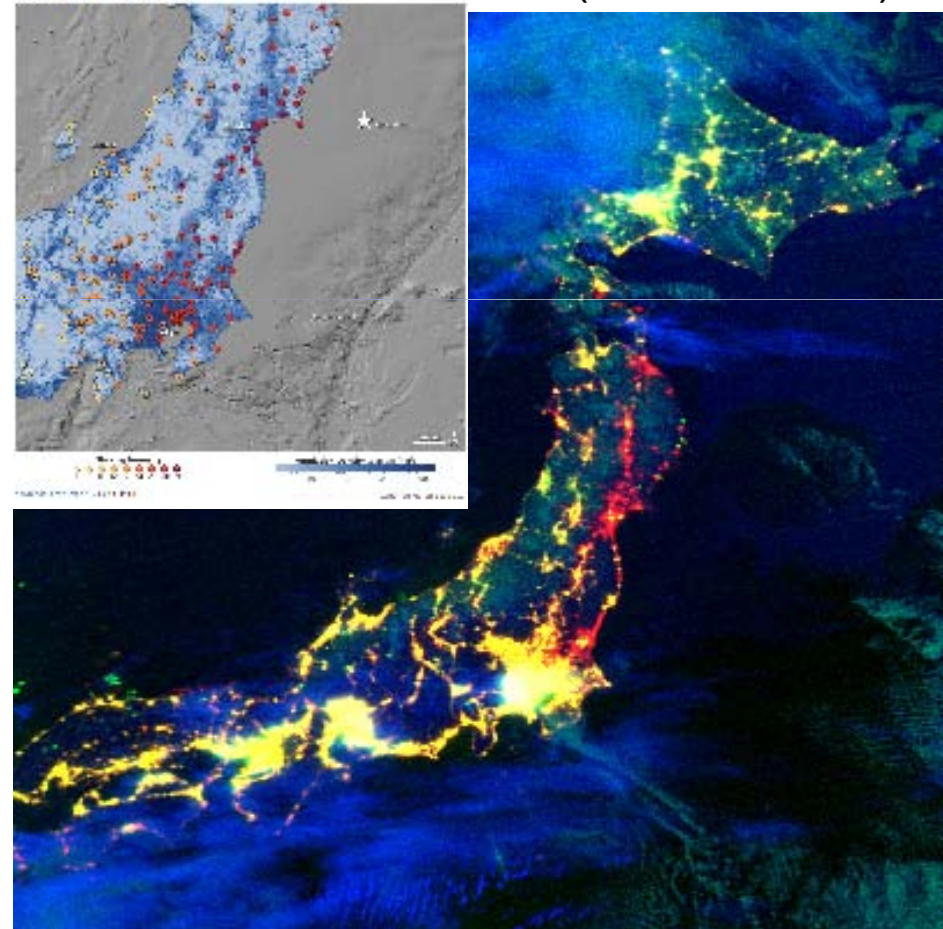
ハザードマップの改訂

### ◎全域レベル：

全域で復興段階を比較する衛星地図

マルチセンサによるモニタリング継続

被災後灯りの消えた地域(DMSP/NOAA)





## 復興の単位： 町丁目ごとの情報収集

Visual interpretation of each city-block

正射写真（オルソフォト）が位置座標を持つことで、他の様々な情報と合わせた画像化と調査が可能

- ・ 航空写真により被災の状況が細かく見える
- ・ 町丁目の境界線を加えて、各町丁目ごとの被害を集計できる

大槌町



大町

栄町



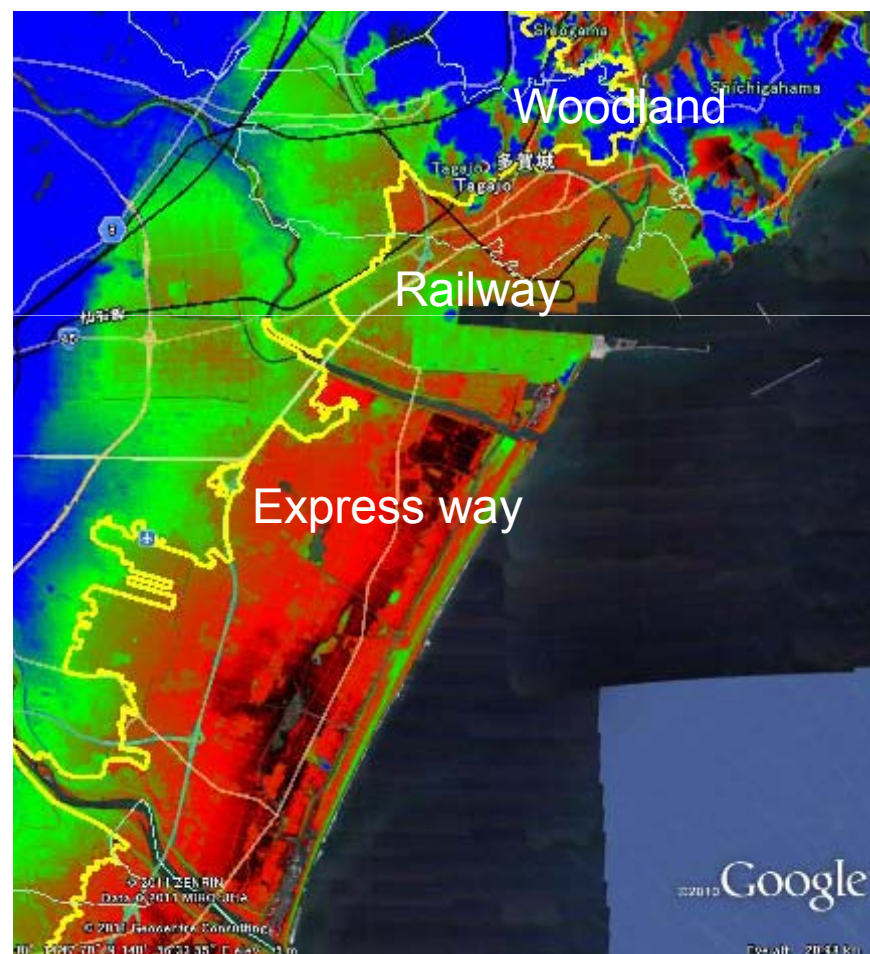


# 津波が止まったラインにあったもの

## What along the Tsunami line

津波到達ライン

- ・ 高速道路(盛土)
- ・ 線路(盛土)
- ・ 樹林帯：林の効果：生活空間確保





# 樹林帯の複層配置による生活空間の確保

## Spatial distribution of woodland

### 海岸林の防潮機能

- ・漂流物の移動低減
- ・流速低下、破壊力減少
- ・避難の時間を稼ぐ

樹種：マツ



### 新たな樹林配置

- ・海岸林と内陸樹林帯の活用
- ・地形を考慮した設計



### 内陸樹林帯の樹種：選択可能

- ・住民による維持管理
- ・樹林の成長に伴う利用拡大



# 樹林帯を利用した生活空間の確保

## Use of woodland for Tsunami disaster management

内陸樹林帯で向上する機能

破壊力低下

瓦礫を止める

速度低下

逃げる時間確保



生活空間が確保できる

日常的に利用可能

暮らしになじむ

海岸林は砂地で  
抜けやすい

樹木が抜けて  
凶器にも

課題

生活空間との境では  
樹林と地形を使った  
津波の方向制御を

海岸から多重に配置して対応





# ハザードマップの再検討

## Revision of the Tsunami Hazard Map

右図は生研が判読した今回の津波到達ライン(黄色)と仙台市の防災マップ・津波ハザードマップによる浸水域予測ライン(赤色)

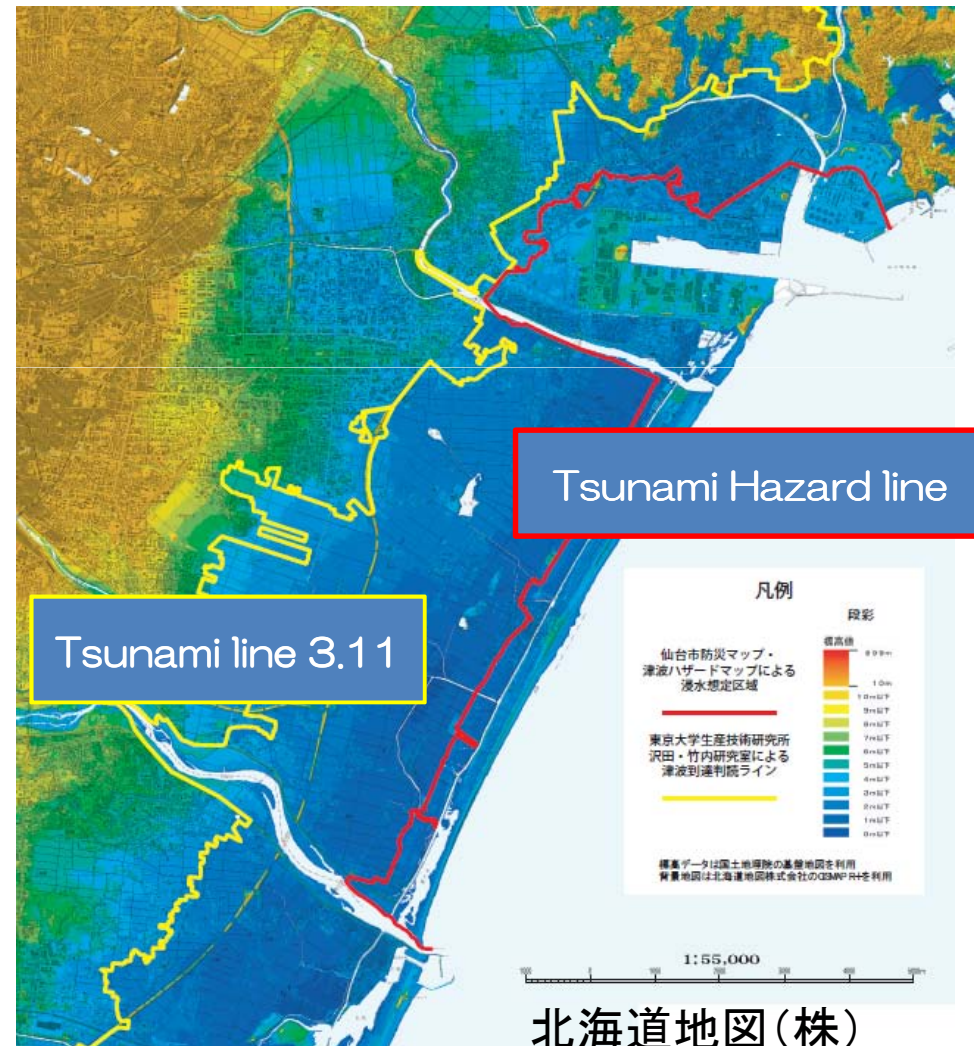


大幅な修正が必要

微地形と樹林を利用してハザードレベルが変われば、その都度ハザードマップを改訂すべきである

津波のレベルに応じたハザードマップ

津波モデルへの抵抗パラメータ提供





# 東日本大震災対応で見えてきた課題： まとめ

## Summary

- ＋ 国際チャーターは一層の協力強化・継続的協力が必要
- ＋ 広域の地震・津波災害に対応したシステム化が必要
  - ・ 声なき激害地の状況を早期に把握する
  - ・ SARによる漂流物検知をシステム化する
  - ・ 地震、津波、地滑り、液状化など、同時発生現象に対応する
  - ・ 「瓦礫」発見システムを確立する（被災範囲、瓦礫量推定）
- ＋ 航空写真の緊急撮影協定は有効に機能した
  - ・ 過去の高分解能画素を迅速に検索できるシステムが必要
  - ・ 判読成果のクロスチェックが不可欠
- ＋ 復興に向けて
  - ・ 衛星写真地図の継続的提供が必要
  - ・ 津波ハザードマップを見直す：生活空間のゾーニング(三次元)
  - ・ 三次元情報による復興段階のモニタリング



# 東日本大震災 衛星画像・空中写真関連サイト

## Web sites on remote sensing for the east Japan GED

### ●国・行政機関・自治体・研究機関等

国土地理院

宇宙航空研究開発機構 ( JAXA )

防災科学技術研究所

情報通信研究機構 ( NICT )

農業・食品産業技術研究機構

International Disaster Charter

German Aerospace Center (DLR)

東京大学 生産技術研究所

沢田・竹内研究室

東京農業大学・

東京情報大学

国立台湾師範大学地理学科

### ●民間

日本マイクロソフト(株) (MSN)

日本スペースイメージング (株)

(株) マピオン

国際工業ホールディングス(株)

アジア航測 (株)

朝日航洋 (株)

(株) パスコ

何してる？  
2000億円かけた(2006年までに)  
情報収集衛星  
目的  
1. 安全保障  
2. 大規模災害等

「情報収集衛星の具体的な運用についてはまさに国家機密の範囲だと私は思う。利用できる物があれば十分利用させていただいている」ということが、申し上げられるギリギリかなと思っている  
(枝野官房長官 3.25)

[Bingによる衛星画像](#)

[東北地方太平洋沖地震・緊急撮影状況 ～緊急撮影・災害前後資料～](#)

[被災地の航空写真](#)

[災害調査活動への取り組み](#)

[IKONOS衛星画像を用いた津波による被害状況抽出](#)

[東日本大震災情報特設ページ](#)

[2011年3月 平成23年\(2011年\)東北地方太平洋沖地震に関する情報](#)



福島を自然エネルギー共生県とする