



ドローンと衛星画像を利用した 地球観測の可能性

総合地球環境学研究所

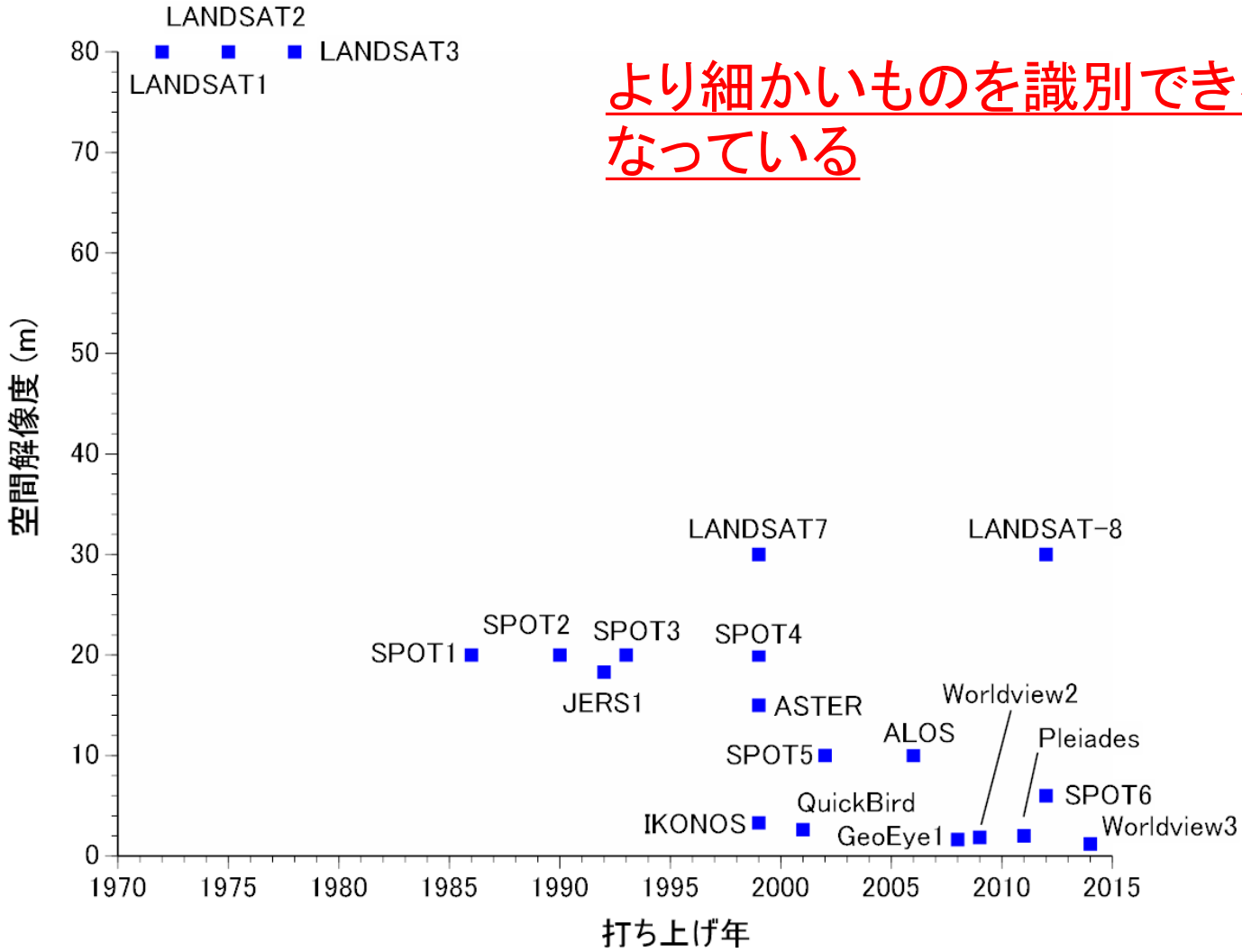
エリアケイパビリティープロジェクト 渡辺一生

Exelis VIS株式会社

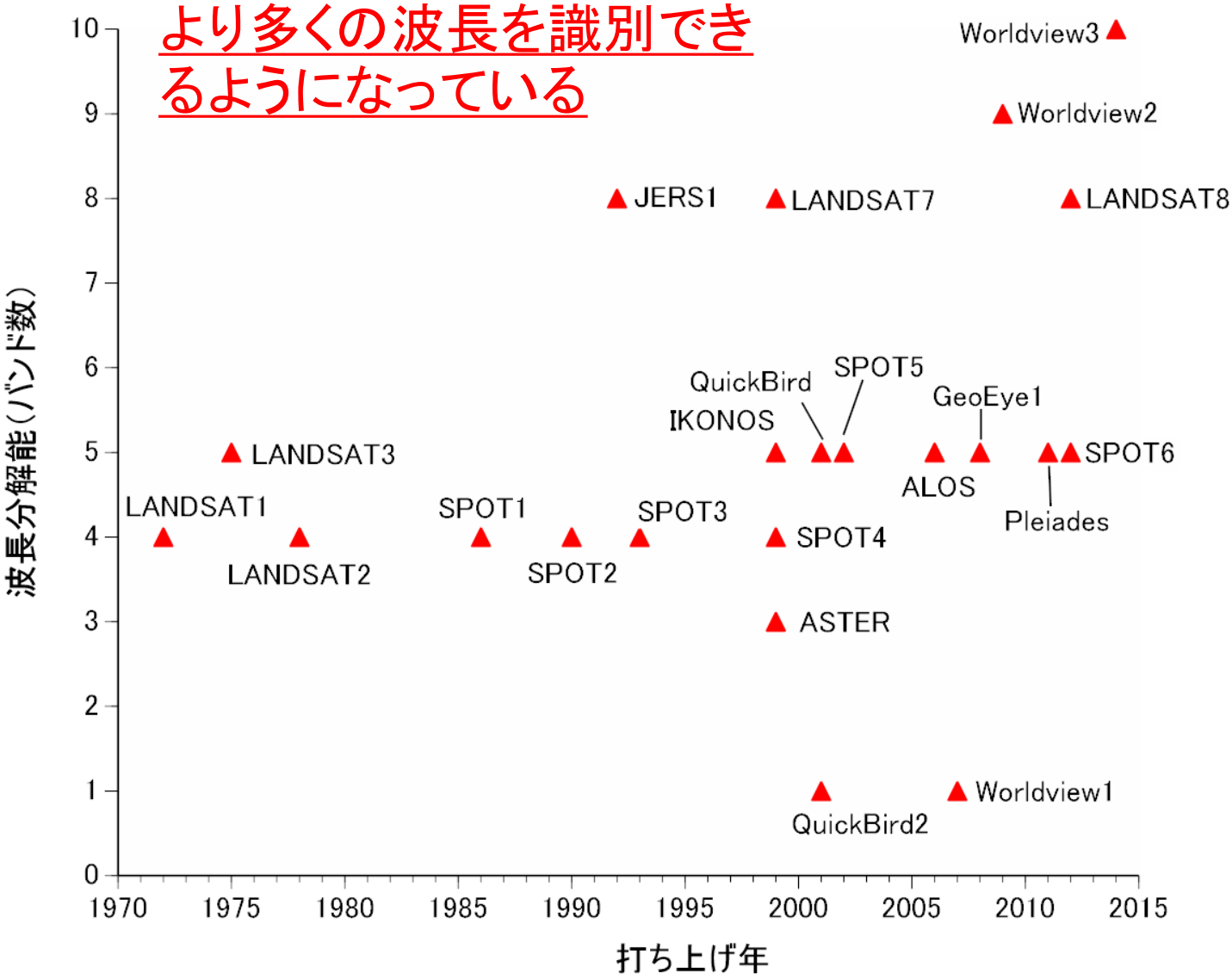
大阪オフィス 山下 浩二、生駒 舞子



世界の主な衛星の打ち上げ年と空間分解能



世界の主な衛星の打ち上げ年と波長分解能



衛星データ利用だけで必要な情報が全て取得できるのか？

- ・研究対象領域を必ず衛星が撮影しているとは限らない
- ・光学衛星の場合は、天候に左右されがちで、必要なデータがとれていない場合もある
- ・局所的な情報把握はどうする？



- ① 他のリモートセンシングデバイスを利用する
- ② 自分で必要なデータを必要な時に取得する
 - ドローン、UAV



マルチプラットフォーム 地球観測網

リモートセンシング衛星

650,000m前後

数十km

光学センサー

マイクロ波

航空機

1,000m前後

数km

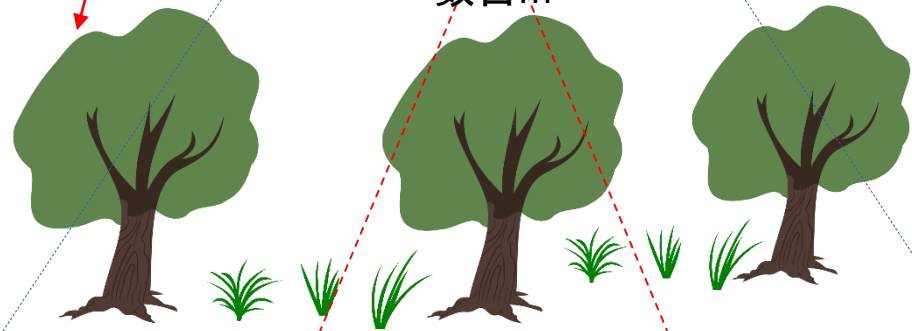
光学センサー



ドローン (SUAV)

100m前後

数百m



現地調査

最近何かと話題のリモートセンシング デバイス



合成開口レーダ衛星
だいち2号 (ALOS-2)



ドローン (小型無人機)

- それぞれのデバイスデータの活用で何ができるのか
- 広域的な空間把握と局所的な空間把握の組み合わせ

Exelis VIS株式会社

本社: 米国 コロラド州 ボルダー

Exelis VIS株式会社 (エクセリス ビアイエス)

東京オフィス(本社)

〒113-0033

東京都文京区本郷1-20-3 中山ビル3F

TEL: 03-6801-6147 / FAX: 03-6801-6148

大阪オフィス

〒550-0001

大阪市西区土佐堀1-1-23 コウダイ肥後橋ビル5F

TEL: 06-6441-0019 / FAX: 06-6441-0020

email: sales_jp@exelisvis.co.jp

設立日: 2007年11月5日

株 主: 米国 Exelis Visual Information Solutions (100%)

代表取締役: 大川 満二郎



Exelis - Geospatial Systems



- > Airborne Situational Awareness
- > Information Exploitation
- > Satellite Imaging
- > Climate Monitoring
- > GPS
- > Night Vision

[Satellite Imaging]

地球観測衛星のセンサを提供

- IKONOS, GeoEye-1, 2
- QuickBird, WorldView-1, 2, 3

[Climate Monitoring]

三菱電機(株)様が開発され、2014年10月7日に打ち上げられた「ひまわり8号」、次期打ち上げ予定の「ひまわり9号」ではExelis社製の画像センサーを採用

[GPS]

世界中で利用されているGPS衛星の搭載システムはExelis社製

Exelis VISのリモセン関連プロダクト

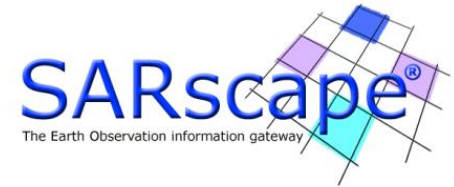
ENVI

- リモセン用統合アプリケーション



SARscape

- ENVI用SAR解析処理オプション



ENVI LiDAR

- 点群データ解析ツール



IDL

- データ解析・可視化ツール



リモートセンシングデータ解析用統合パッケージ



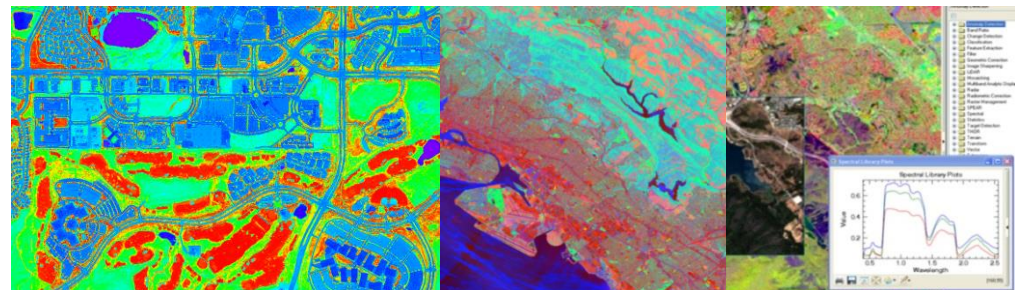
ENVI

ENVIとは

■ ENVIはリモセンデータ解析処理の統合アプリケーション

【特徴】

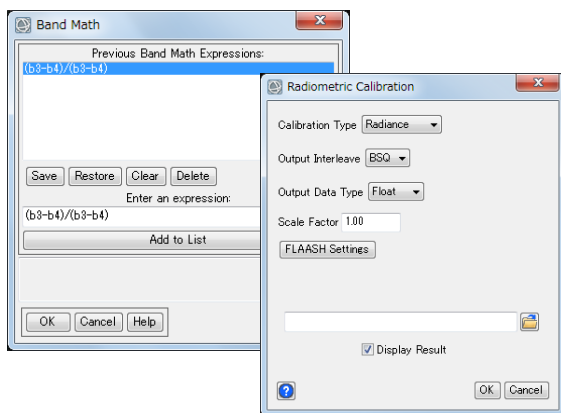
- ◆ 一般的な解析処理に必要な機能を殆ど標準搭載
- ◆ サポートファイルフォーマットの充実
- ◆ 直観的に操作できるインターフェース
- ◆ 解析作業の簡素化に向けワークフローを用意
- ◆ ArcGISとの連携



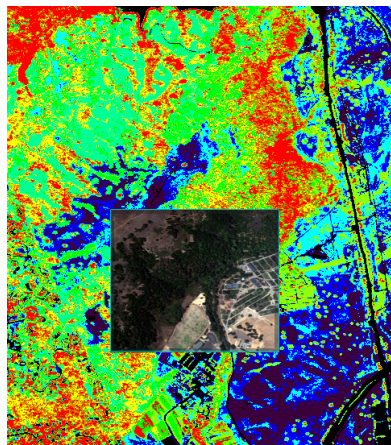
ENVIはオールインワンパッケージ

■ 光学センサー画像解析に必要な機能を標準搭載

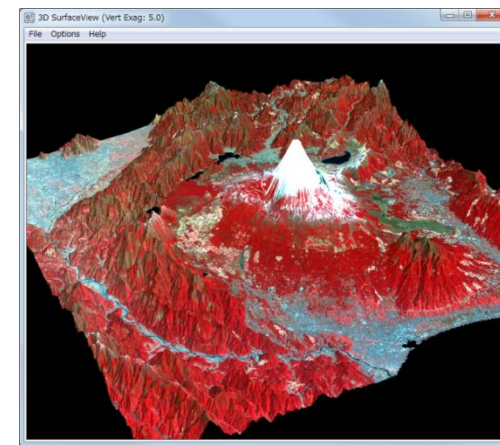
- ◆ バンド間演算、フィルタ、パンシャープン、キャリブレーションなど
- ◆ オルソ補正、幾何補正、モザイク処理など
- ◆ 分類処理や分類後の評価機能
- ◆ 植生解析機能、スペクトル解析機能、地形解析機能



バンド間演算ツールと
キャリブレーションツール



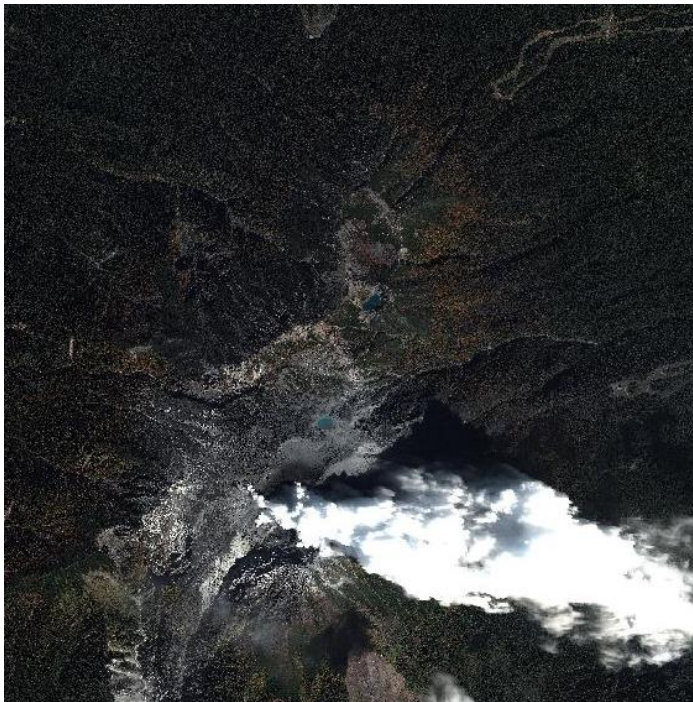
植生の活性状況把握



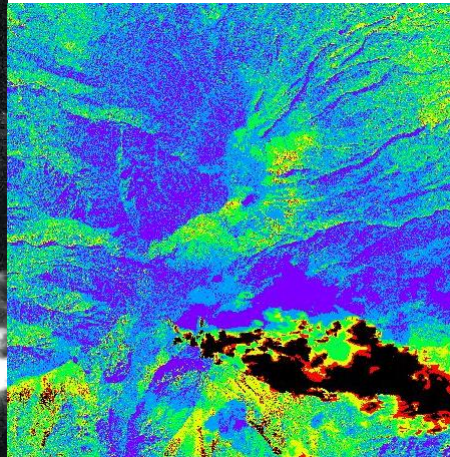
3D Surface Viewを利用した
3次元地形表示

サポートファイルフォーマットの充実

- マルチ、ハイパースペクトル、航空写真、一般画像フォーマットなど70種類以上のデータインポータを標準装備
- WorldView-3などの超高解像度衛星画像やSkySatの動画など、最新のフォーマットにも積極的に対応



- WorldView-3
御嶽山噴火直後の40cm解像度パナクロ
画像の読込と擬似カラー表示例



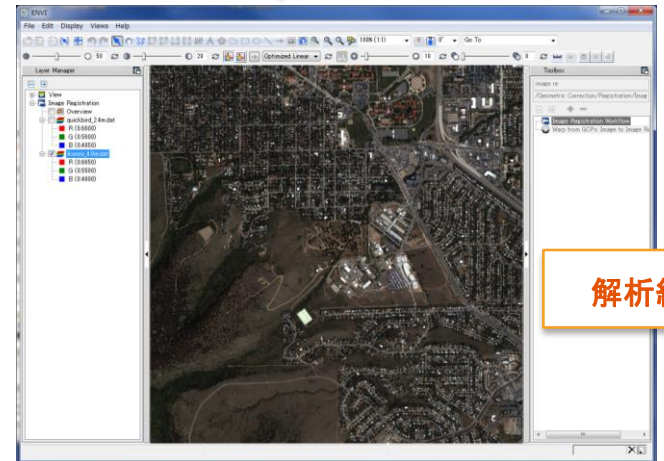
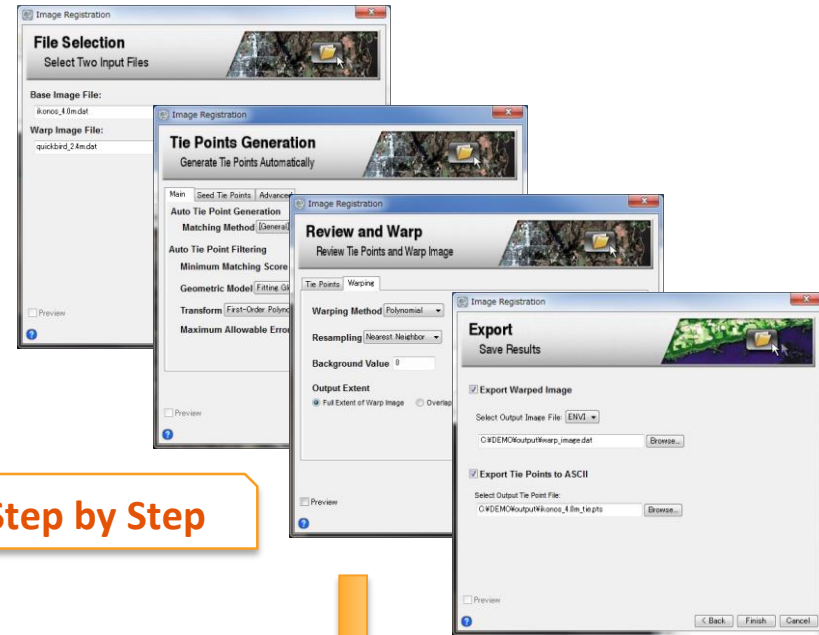
データ提供: DigitalGlobe, Inc.

解析作業の簡素化 ワークフローの活用

- ナビゲーションに従って、ファイル選択やパラメータを設定するだけで、解析結果を取得できる作業効率を高めるツール

＜主なワークフロー機能＞

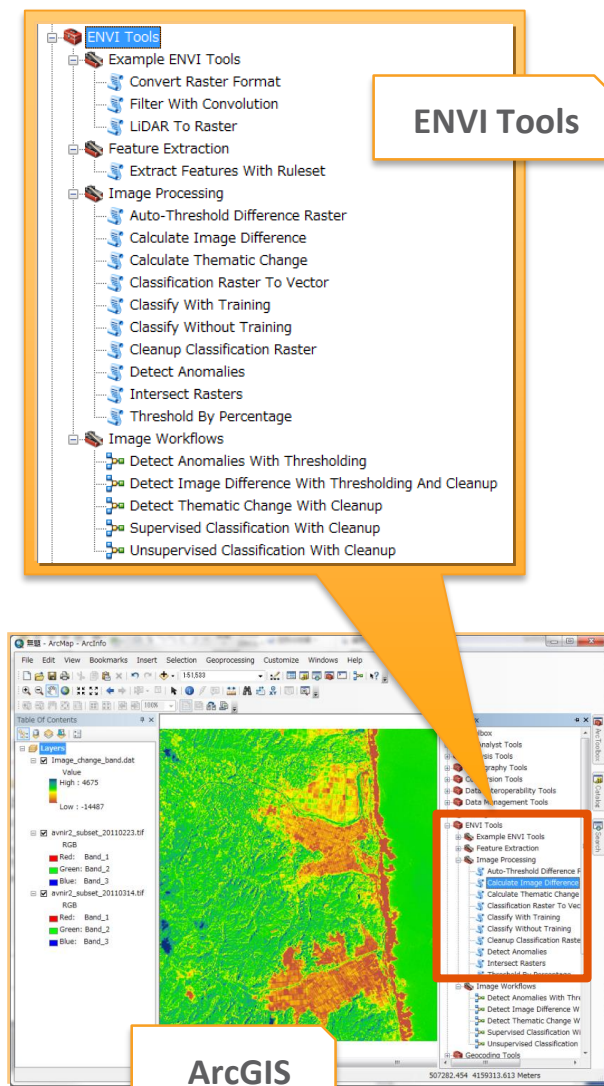
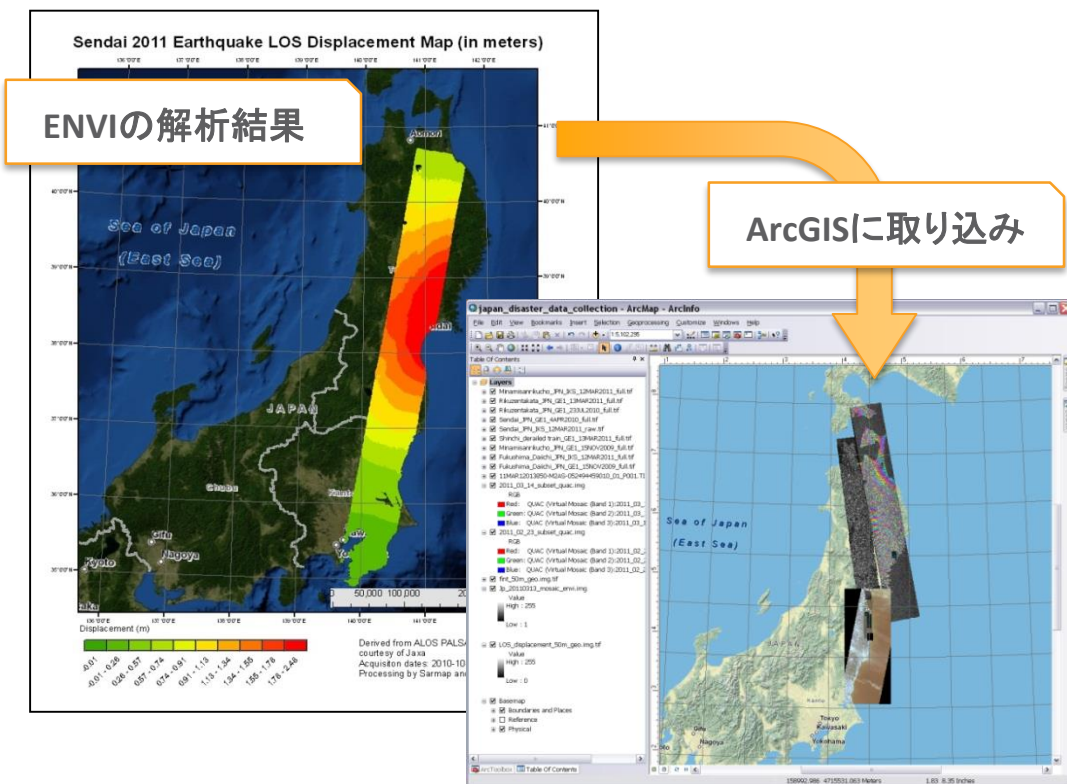
- ◆ 特異点抽出
- ◆ 二時期画像の差分抽出
- ◆ 分類処理
- ◆ 分類処理後の二時期画像による変化抽出
- ◆ RPCオルソ補正
- ◆ モザイク処理
- ◆ オブジェクト分類処理(オプション機能)



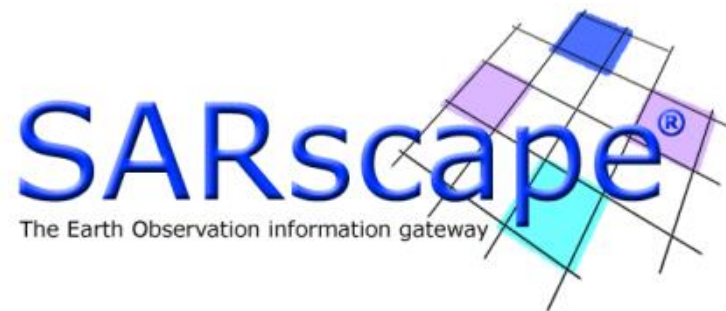
解析結果

ENVIとArcGISの連携利用

- ENVIとArcGISは、ドラッグ&ドロップによるデータ移動など、シームレスな連携が可能



合成開口レーダ (SAR) データ解析ツール



SARscape

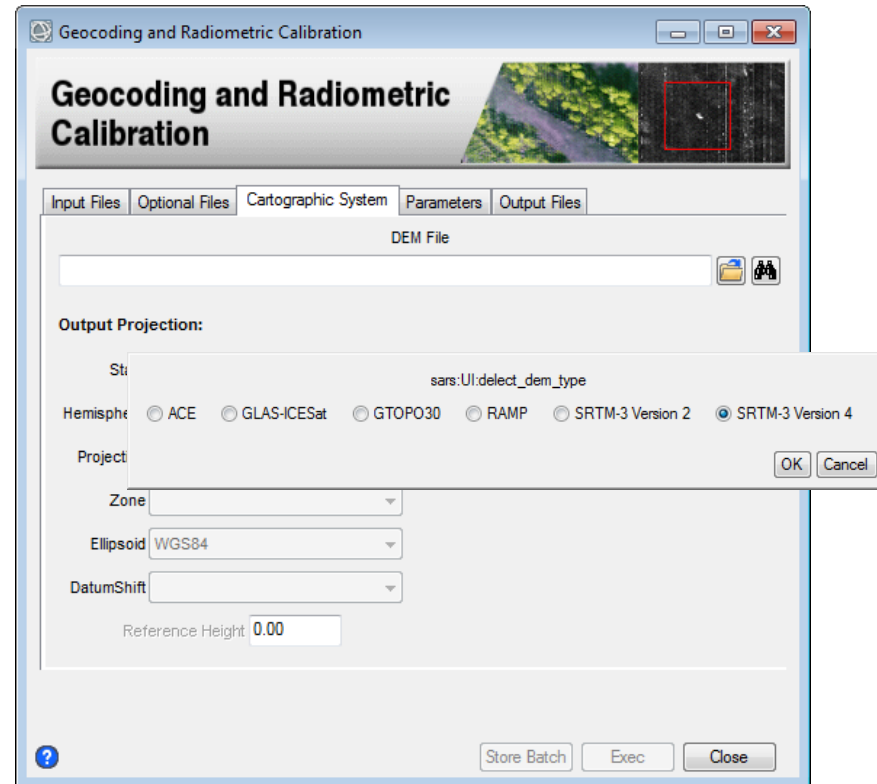
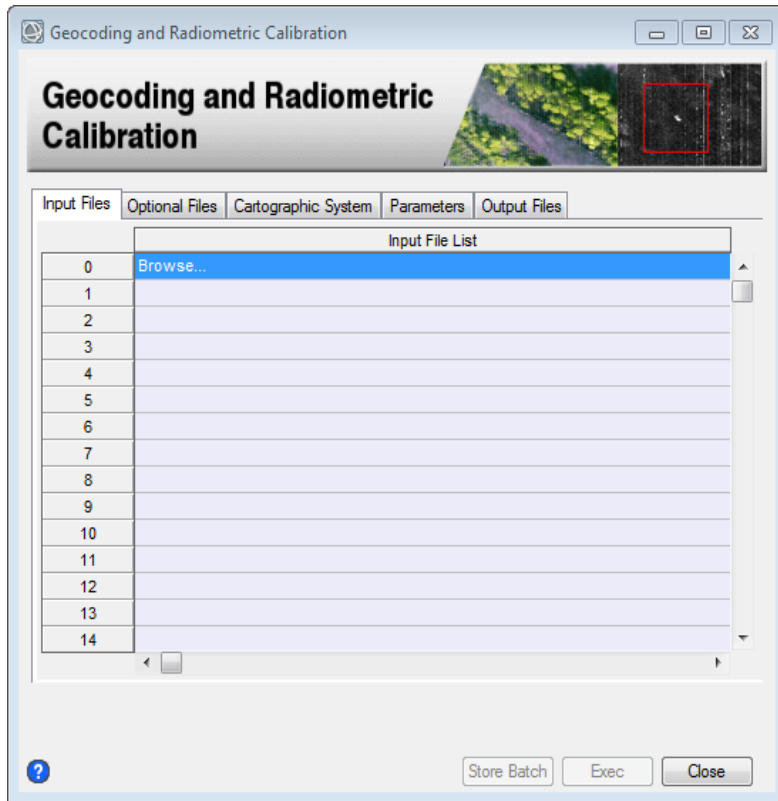
■ SARscapeはSARデータ処理用のENVIプラグインソフト

【特徴】

- ◆ 使い易いシンプルなGUI
- ◆ ワークフローの搭載で、SAR解析が身近に
- ◆ 最新フォーマットにも積極的に対応
- ◆ 処理内容に応じたモジュール構成



さらに使い易くなったシンプルなGUI



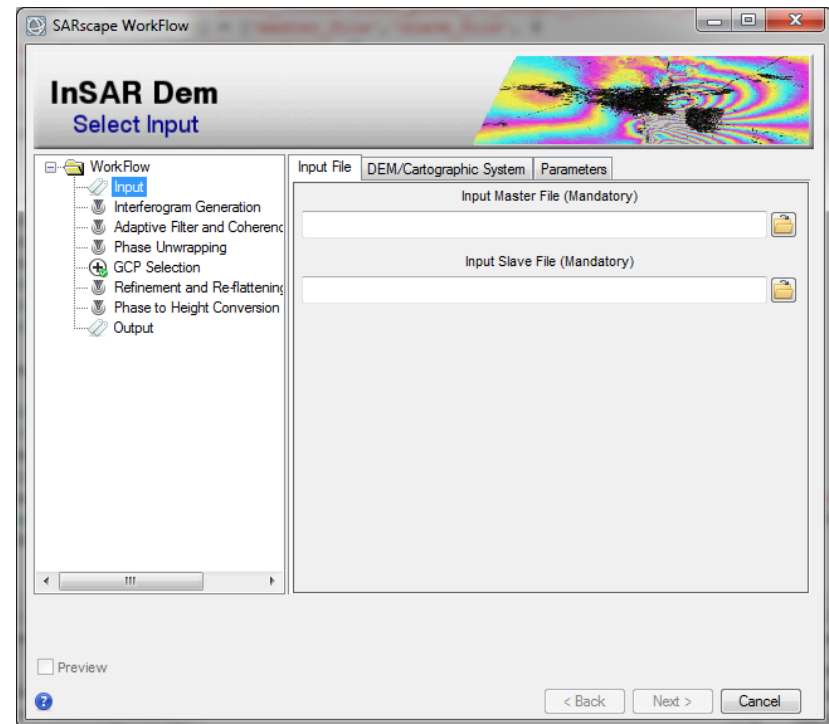
SARscape 5.1 ファイル選択ウィザード

DEMインポートの簡易化

ワークフローの搭載でSAR解析がより身近なものに

■ SAR解析作業の簡素化

- 標準的な処理を行うためのガイド機能
- ナビゲーションに従って、ファイル選択やパラメータの入力を行うだけ
- キーとなるパラメータのみの表示
- 前ステップの処理に戻ってパラメータなどの再設定も可能

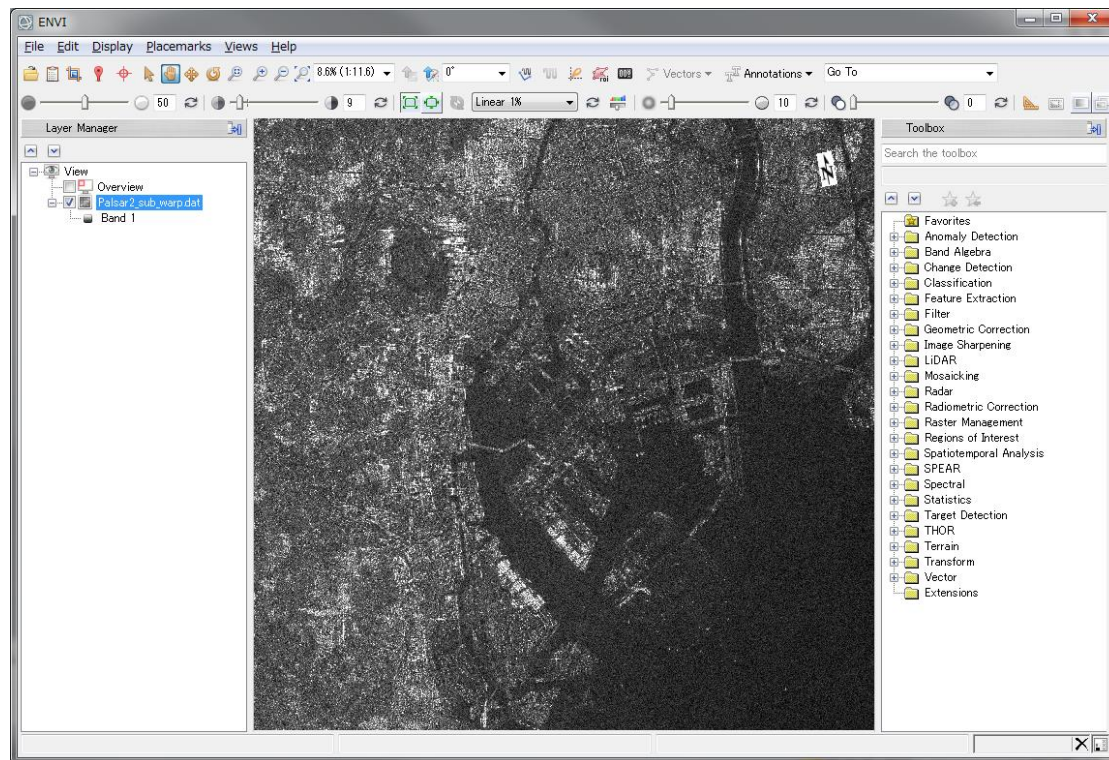


最新衛星フォーマットにも積極的に対応

■ ALOS-2やSentinel-1などの最新フォーマットにも対応

【データサポート状況】

- ◆ PALSAR-1/2
- ◆ Sentinel-1
- ◆ ERS -1/2 SAR
- ◆ JERS -1 SAR
- ◆ RADARSAT -1/2
- ◆ ENVISAT ASAR
- ◆ OrbiSAR-1
- ◆ TerraSAR-X、Tandem-X
- ◆ Cosmo SkyMed
- ◆ その他



ALOS2 (PALSAR-2) : 東京近郊の強度画像表示例

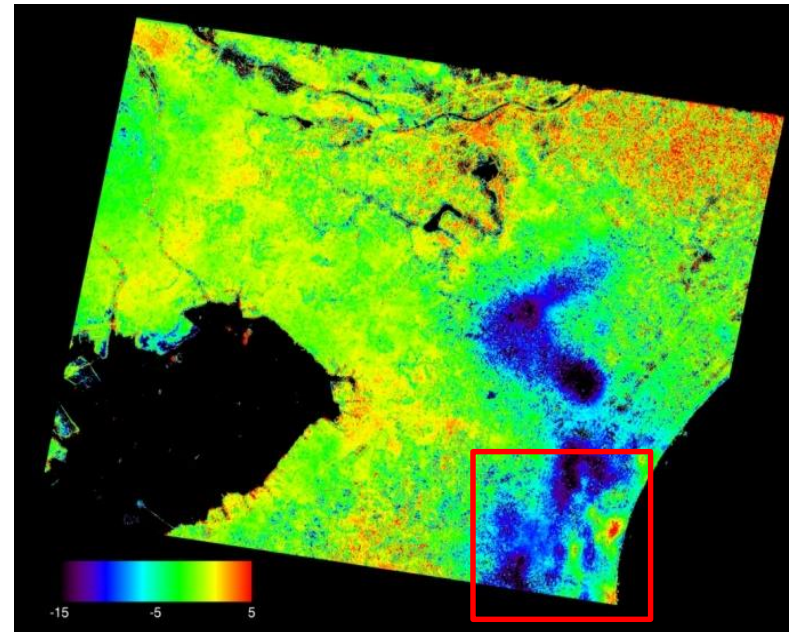
処理内容に応じたモジュール選択

- SAR画像の基本処理から応用解析まで、用途に応じてモジュール選択が可能。

【SARscapeの代表的なモジュール】

- ◆ Basic Module
 - SAR画像基本処理用モジュール
- ◆ InSAR & DInSAR Module
 - 干渉SAR、差分干渉SAR処理モジュール
- ◆ Polarimetry & PolInSAR Module
 - 偏波解析、偏波干渉処理モジュール
- ◆ Interferometry Stacking Module
 - 時系列解析処理モジュール
(SBAS、PSInSAR)

Interferometry Stackingによる時系列解析例
(年間数mmレベルの地殻変動を推定)



- 2006～2011年の変動平均 (mm/year)
- SBAS手法 (ALOS/PALSAR 26シーン)

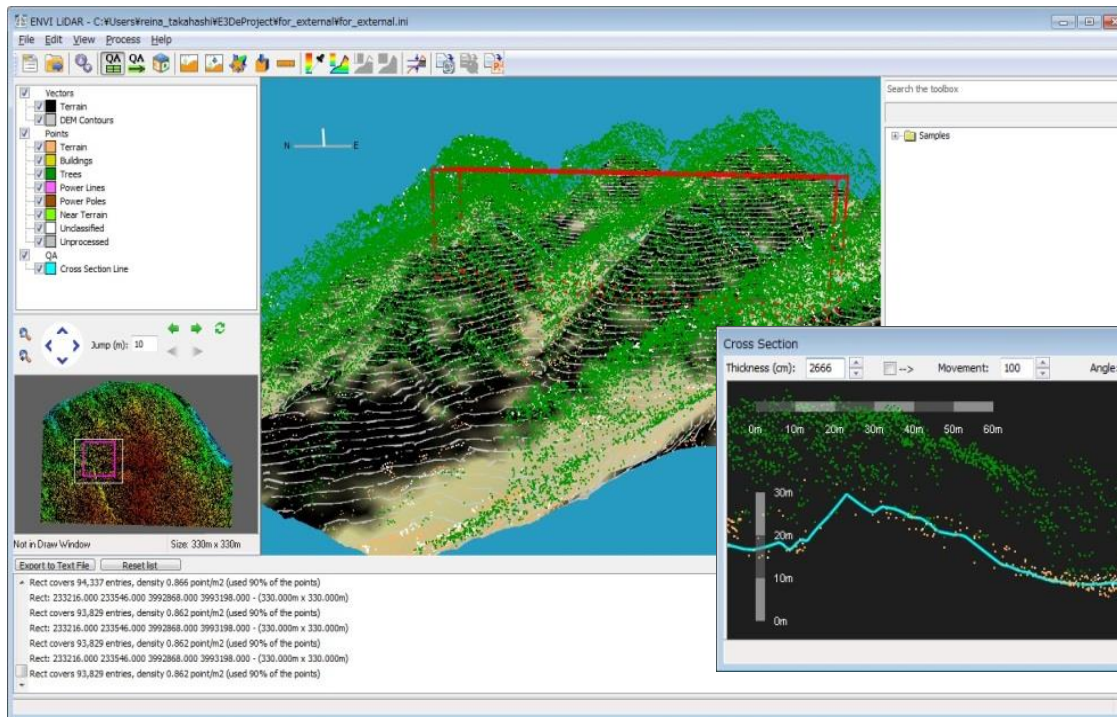
点群データ解析・可視化ツール



ENVI | LiDAR

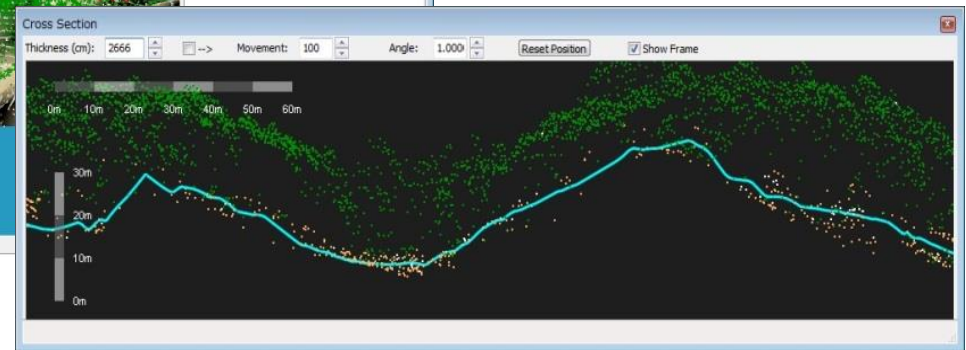
点群データを用いたDSM/DEM(DTM)の作成

- ENVI LiDARでは点群データを元に非常に簡単に以下情報の生成が可能
 - ◆ DSM (Digital Surface Model: 数値表層モデル)
 - ◆ DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル)
 - ◆ DTM (Digital Terrain Model: 数値地形モデル)
- データ内の分類された点群の表示の切り替えや、等高線の表示、横断解析なども簡単に実現



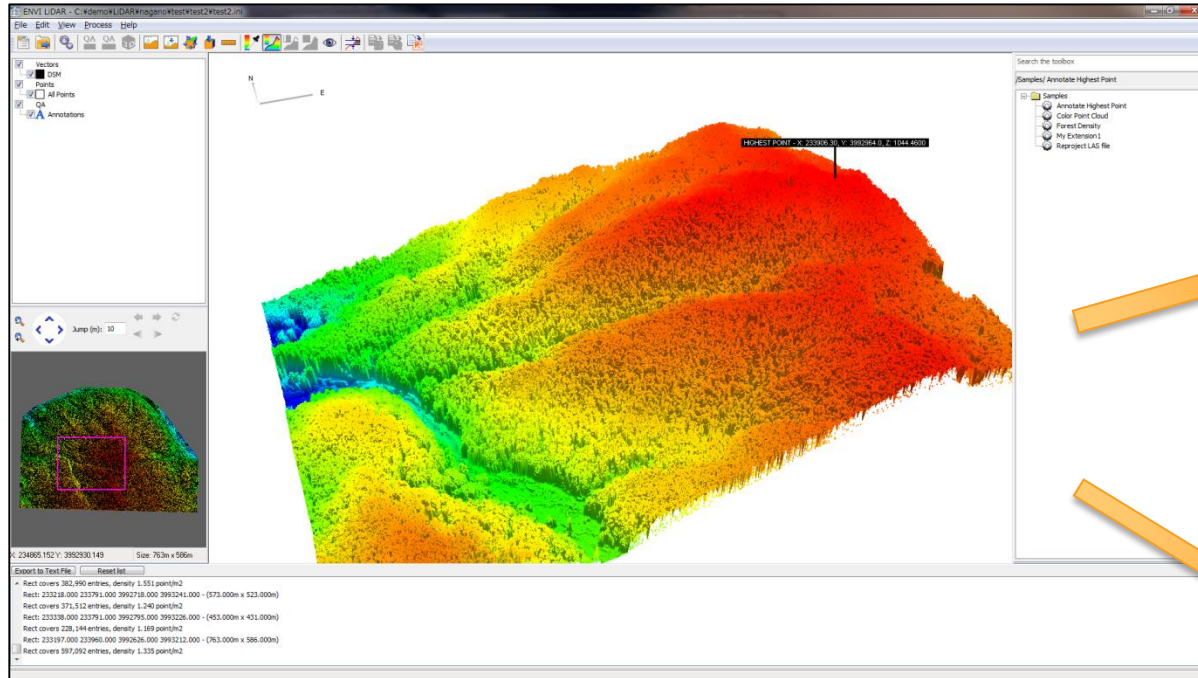
DEMの表示(左)

横断解析の解析結果表示(下)
(左図の赤枠内)

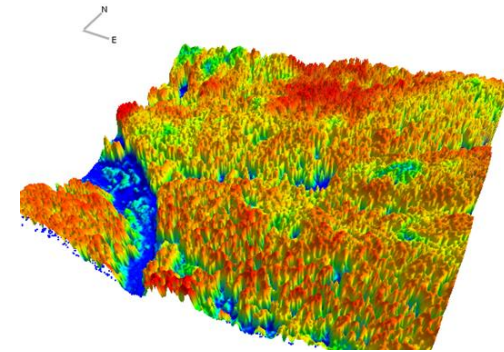


ENVI LiDARの活用事例

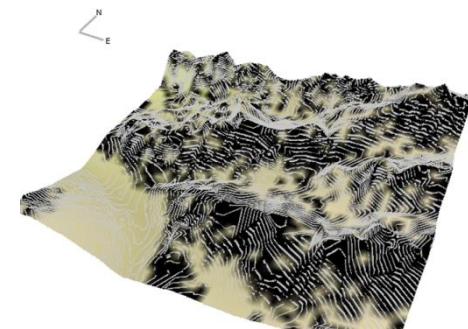
■ 点群データの読込とDSM, DEMコンタの抽出例



長野県山間部の航空レーザデータ表示例



DSM抽出例



DEMコンタ抽出例

【データ提供】

長野県林業総合センター 育林部
戸田 堅一郎様

データ解析・可視化ツール



IDL

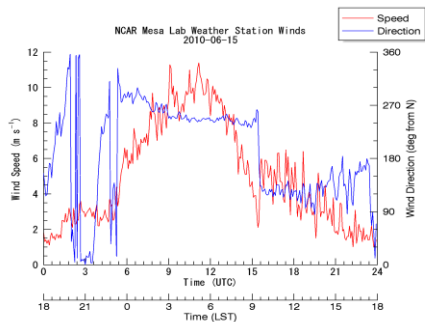
IDLとは

- IDLは、データ解析・可視化処理からプログラム開発まで完結できる統合ツール

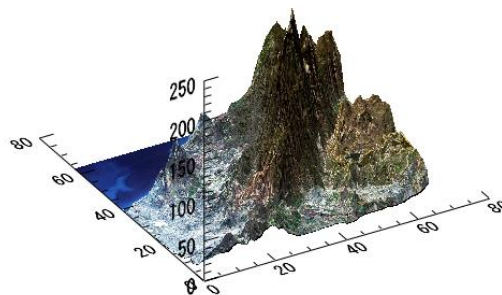
【特徴】

- ◆ 配列指向型言語で、膨大で複雑なデータ処理に最適
- ◆ データ解析や可視化処理など、600以上のルーチンを搭載
- ◆ 一般的なファイル形式の入出力だけでなく、HDF5やNetCDFなどの科学技術フォーマットやGRIB-1,2などにも対応
- ◆ 使い易い開発環境を標準装備
- ◆ Windows, Linux, Macのマルチプラットフォーム対応
- ◆ 他言語プログラムとのリンクも可能

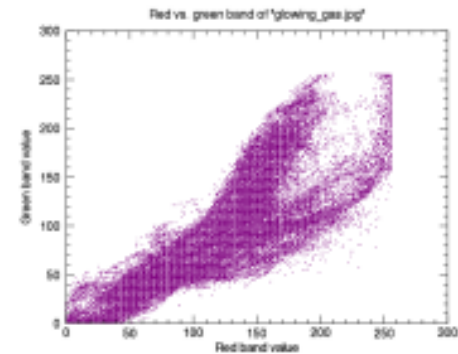
IDLの可視化処理例



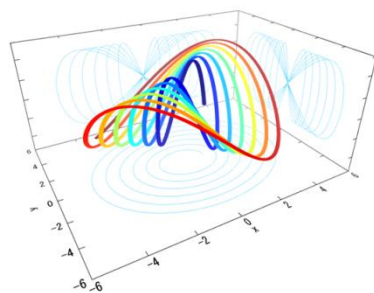
ラインプロットの重ね合わせ



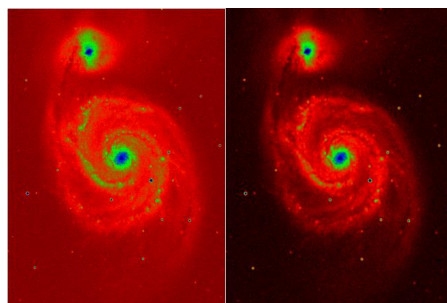
標高データの3次元表示



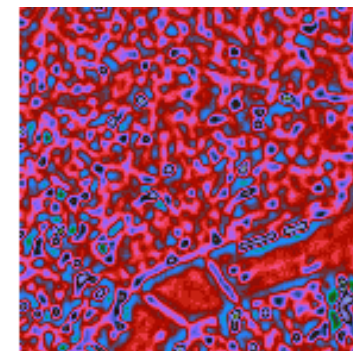
相関図表示



3次元プロット表示

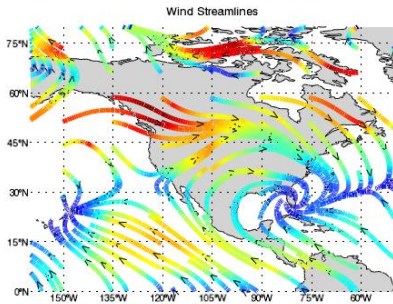


フーリエ変換による画像ノイズ除去

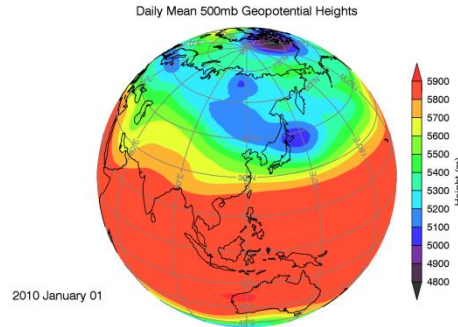


エッジ抽出

IDLの可視化処理例

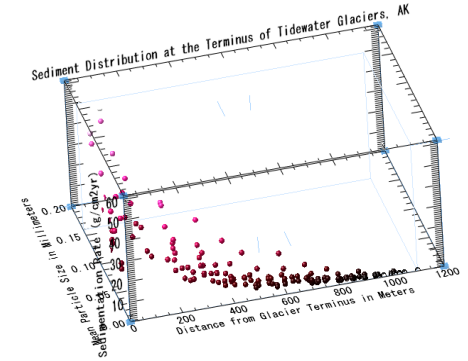


風向の2次元ベクター表示

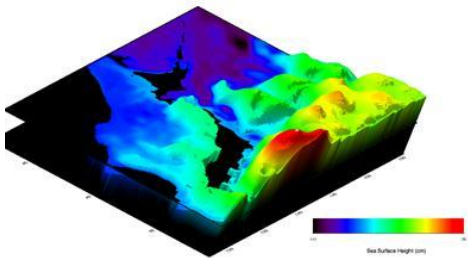


NCEP/NCAR Reanalysis Project
<http://www.esr.noaa.gov/pod/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

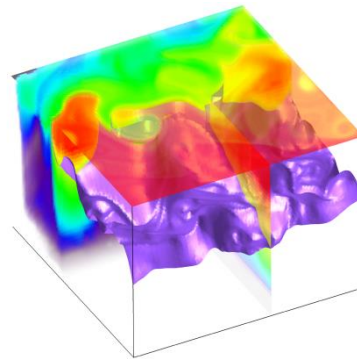
座標データと等値面表示



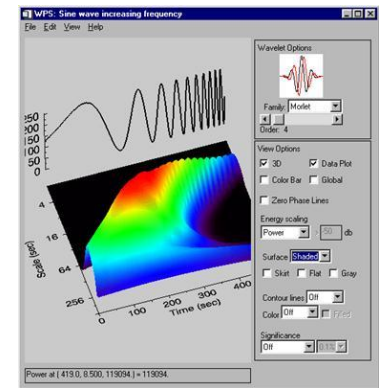
3次元相関図表示
(堆積物分布)



3次元サーフェイス表示



3次元ボリュームレンダリング表示
(任意面スライスと等値面表示)



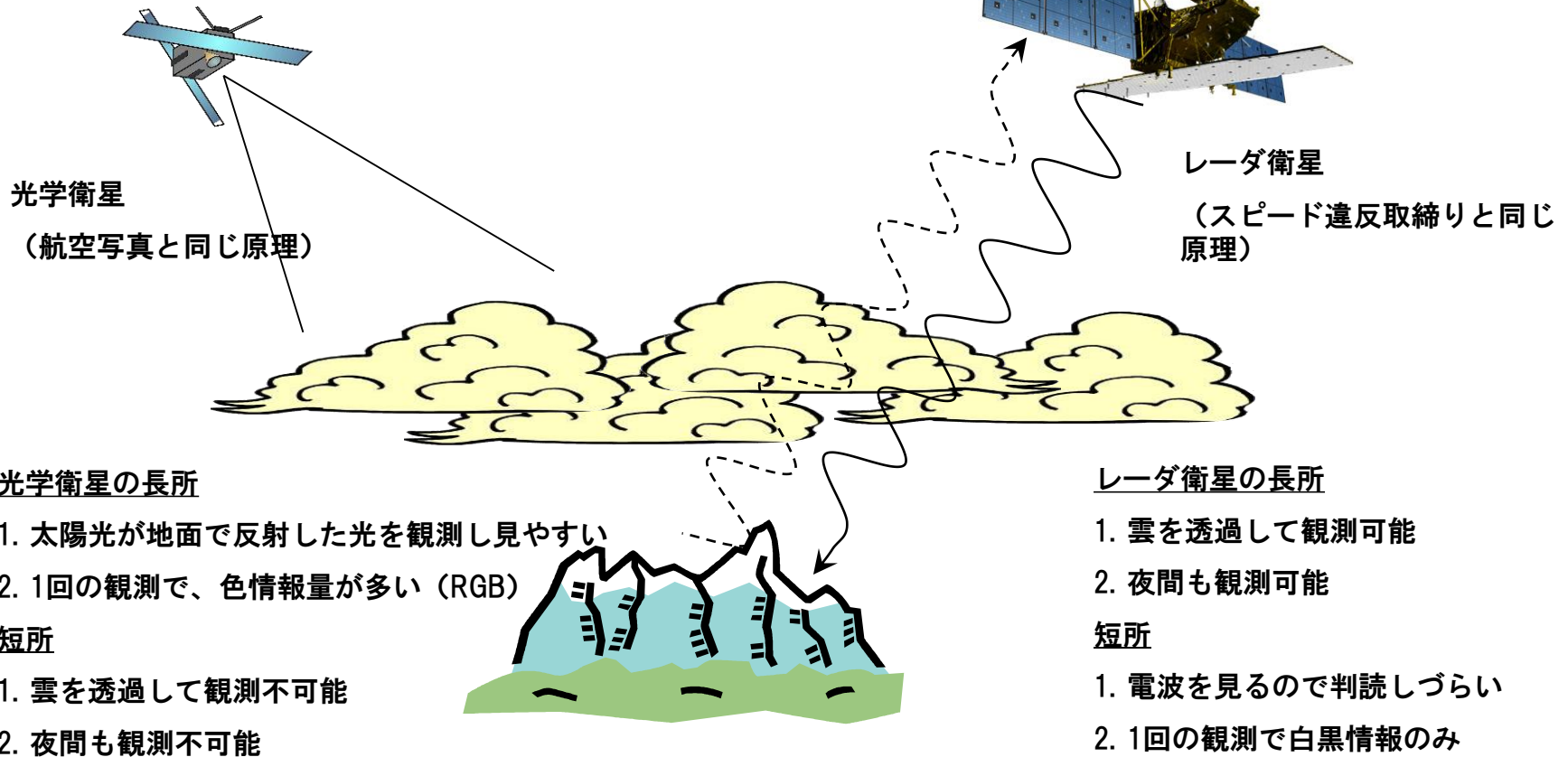
GUIアプリケーションの開発例

合成開口レーダ (SAR) の活用事例紹介



衛星画像とは

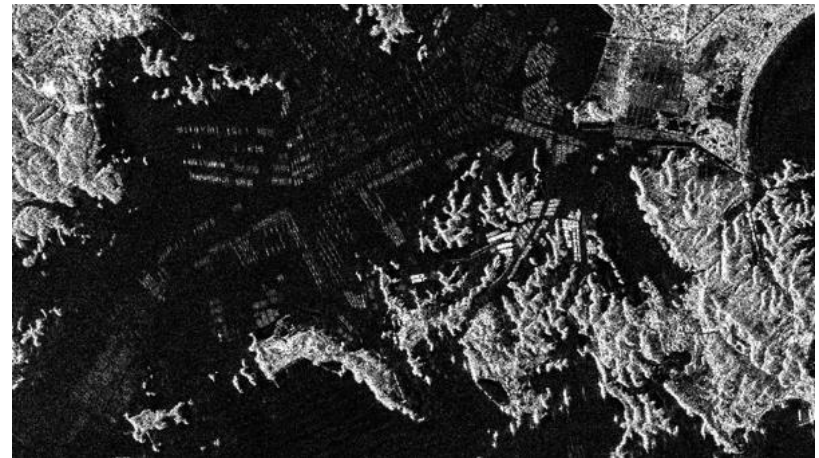
SARデータと光学データ



SARデータとは

SARの特徴

- 夜間観測可能
- 雲を透過する
- 白黒画像
- 表面粗度を観測
- 水面を分離しやすい
- 振幅と位相の情報を持つ
- 偏波が使える



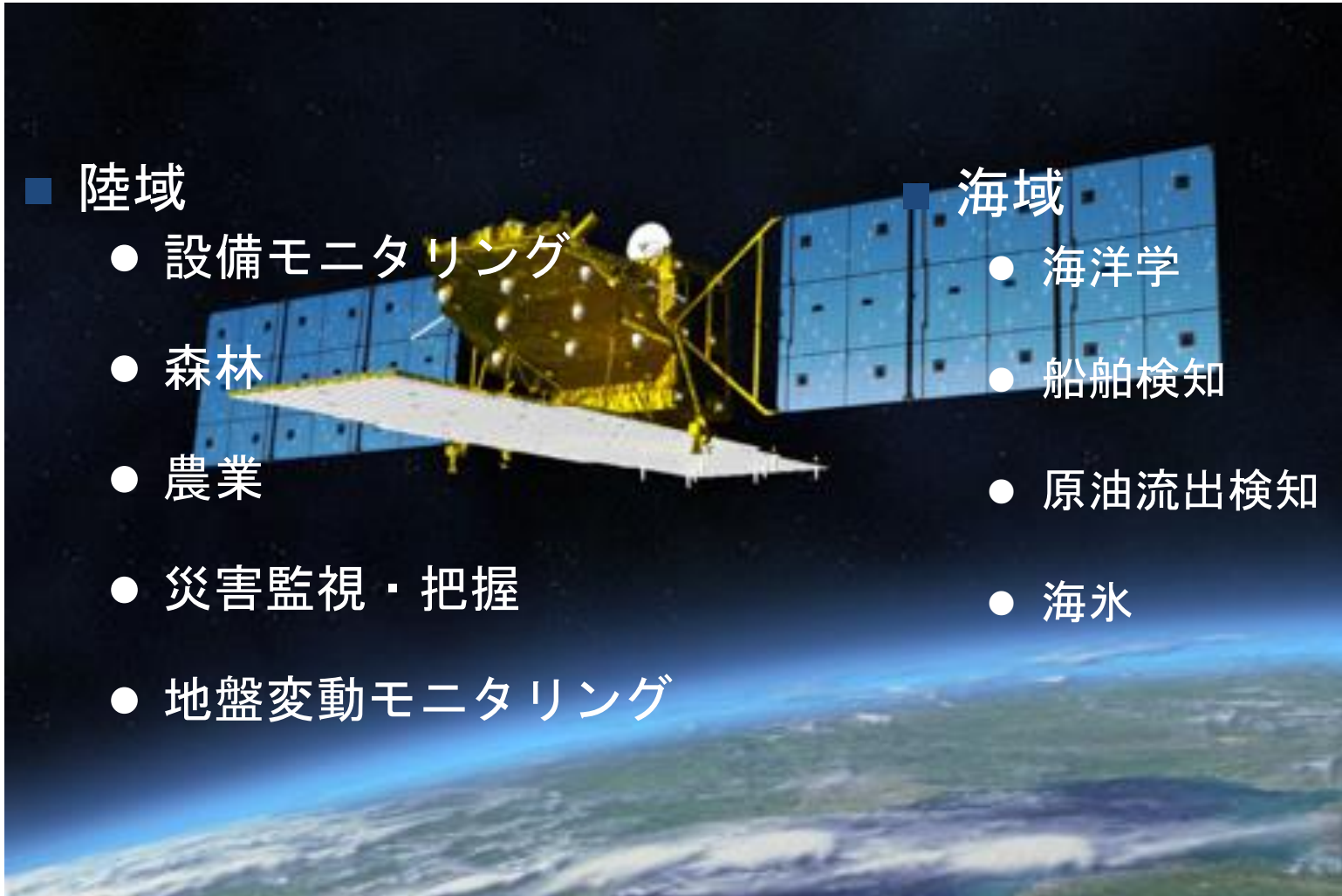
SARデータの活用

■ 陸域

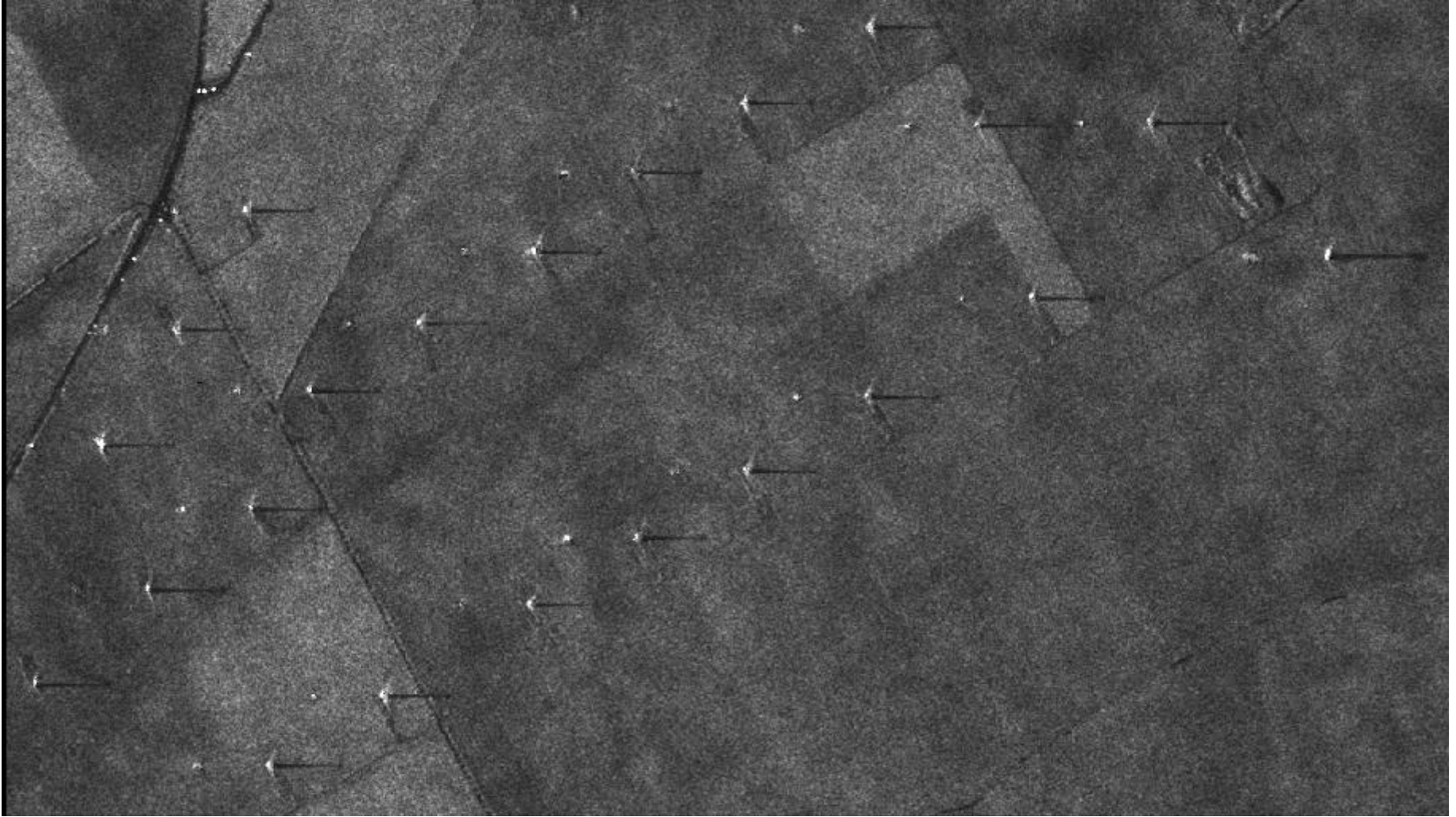
- 設備モニタリング
- 森林
- 農業
- 災害監視・把握
- 地盤変動モニタリング

■ 海域

- 海洋学
- 船舶検知
- 原油流出検知
- 海氷



設備モニタリング

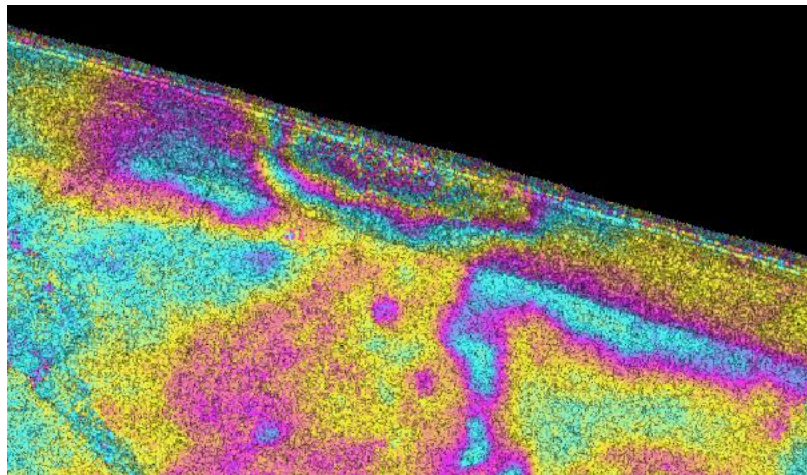
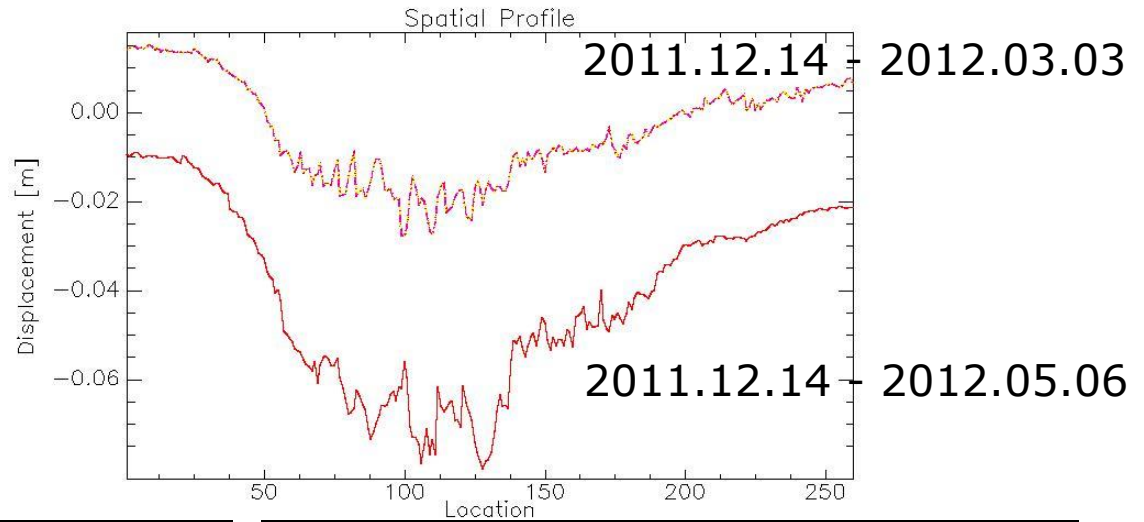
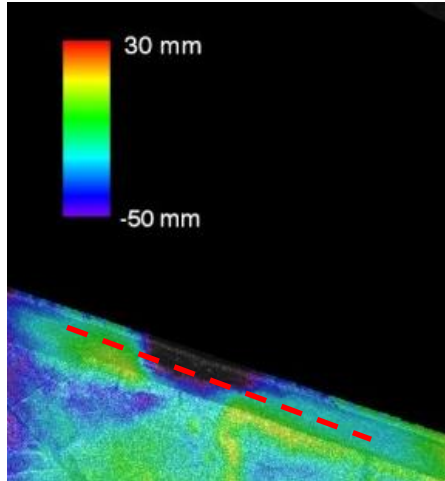


設備モニタリング

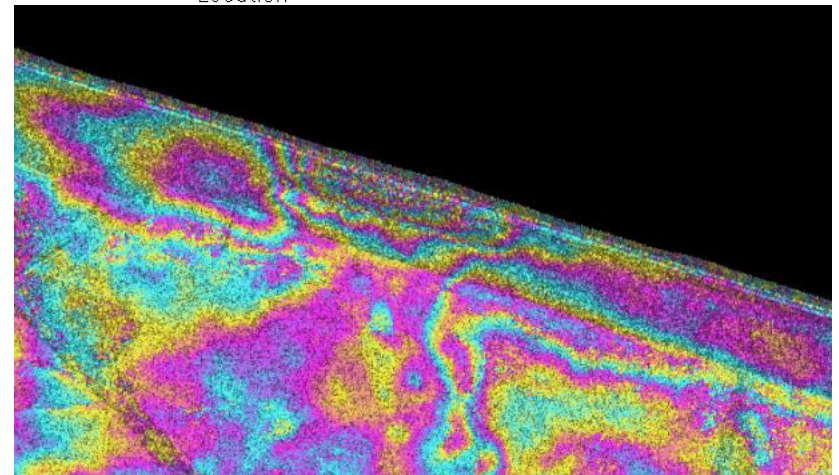


設備モニタリング

堤防のモニタリング



2011.12.14 - 2012.03.03



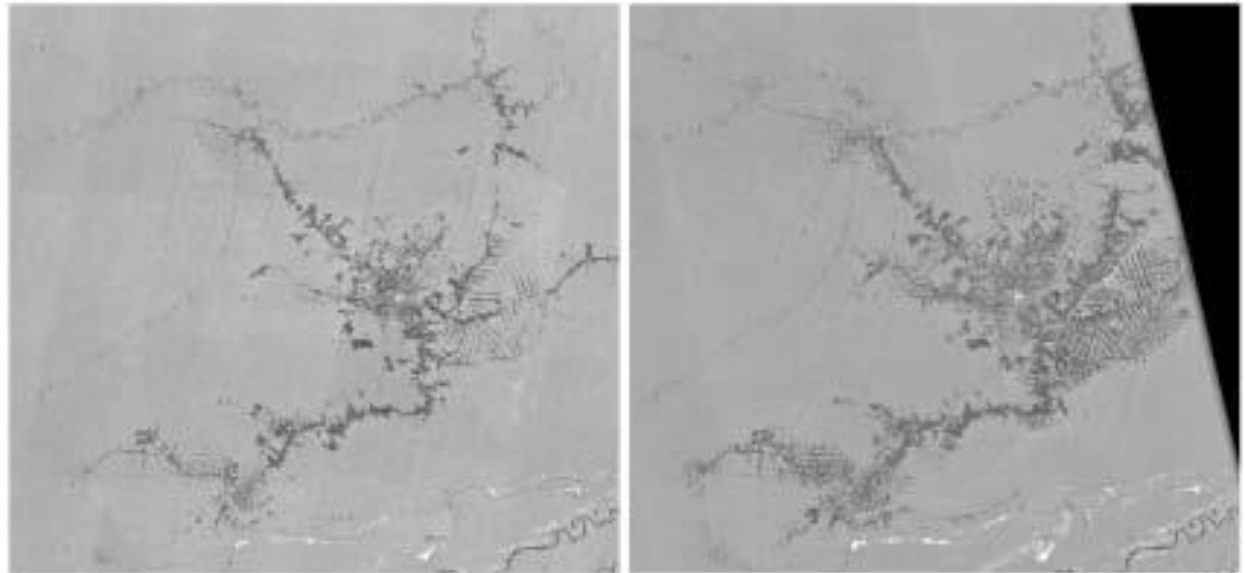
2011.12.14 - 2012.05.06

$\lambda/2 = 1.55\text{cm}$

森林管理の利用

違法伐採の監視

Amazon mosaic(Rondonia area)



JERS (Sep/Dec, 1995, pixel spacing=100m)

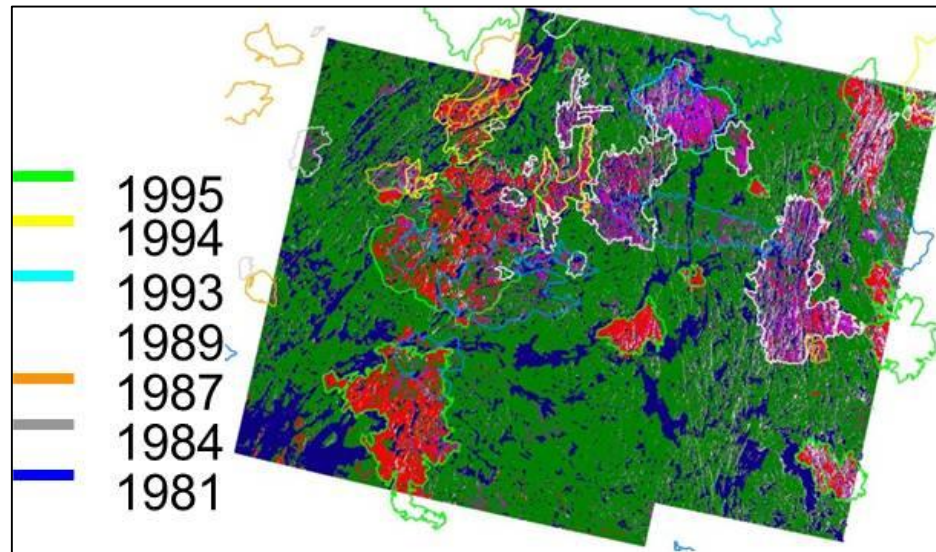
PALSAR (2006, pixel spacing=50m)

Mode : FBS41.5[deg]
Polarization : HH
Map projection : Mercator



森林管理の利用

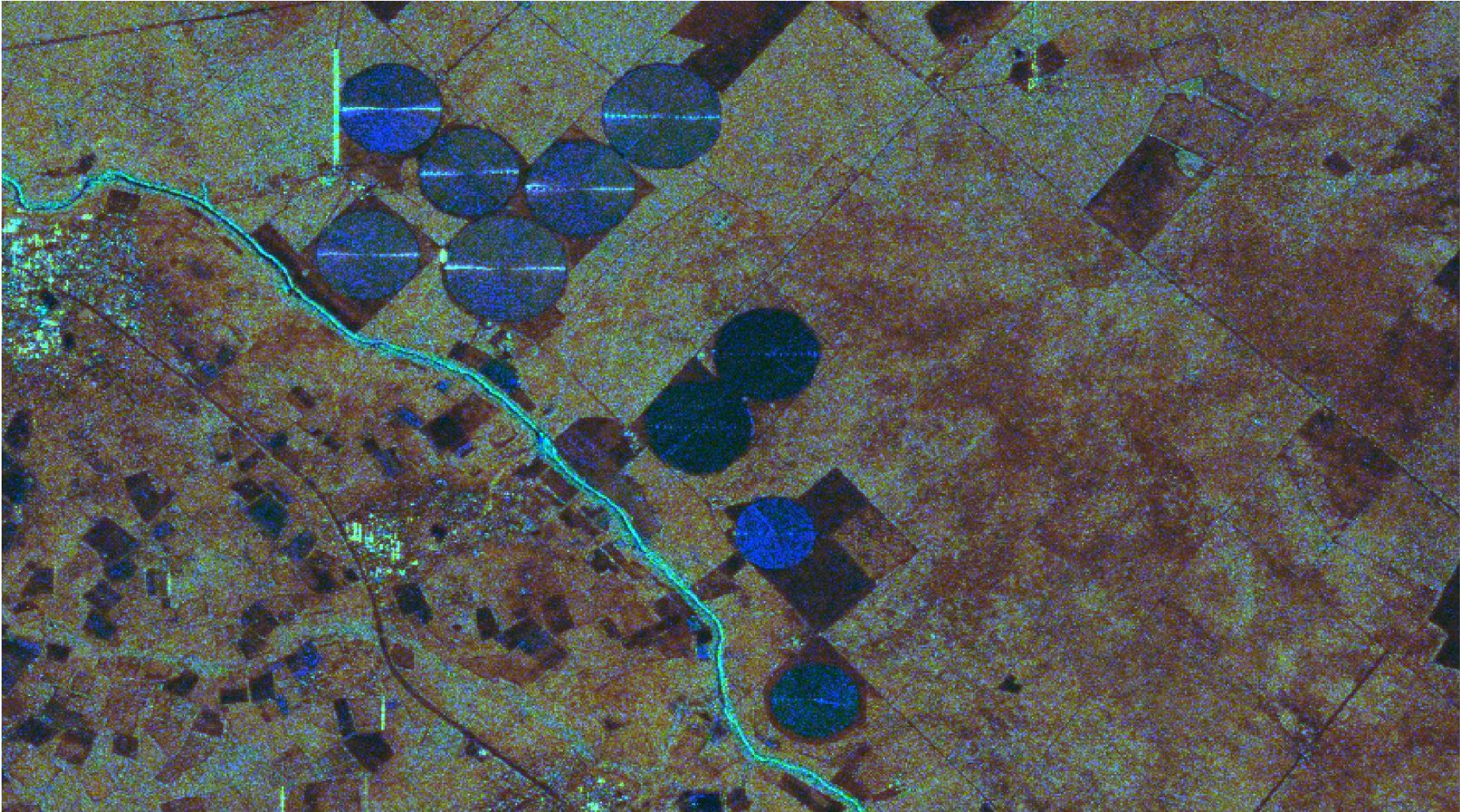
森林火災エリアの抽出



ERS SARを用いた森林火災エリア抽出(カナダ)

農業への利用

土壌水分の判別



農業への利用

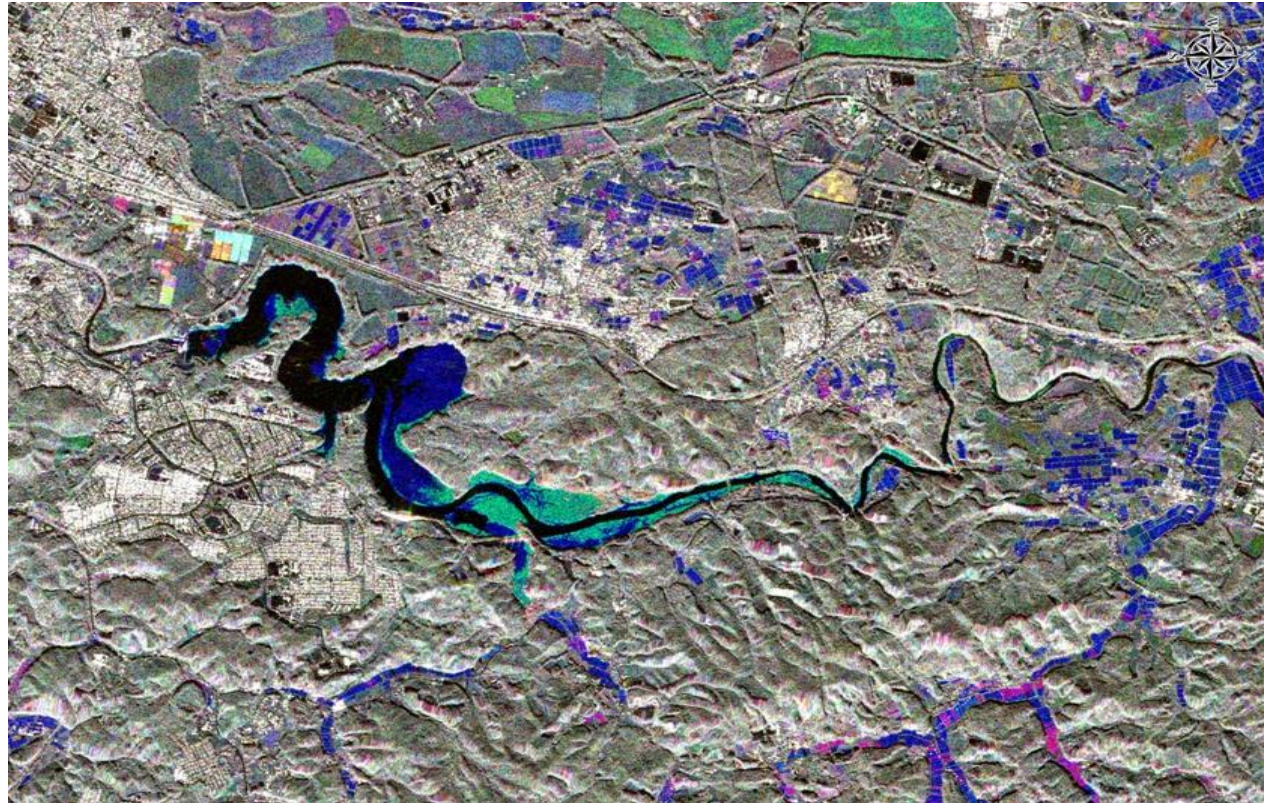
農作物の成長モニタリング



赤:5月19日、緑:7月4日、青:8月19日

農業への利用

河川流量変化監視の利用



赤:5月21日、緑:6月14日、青:8月1日

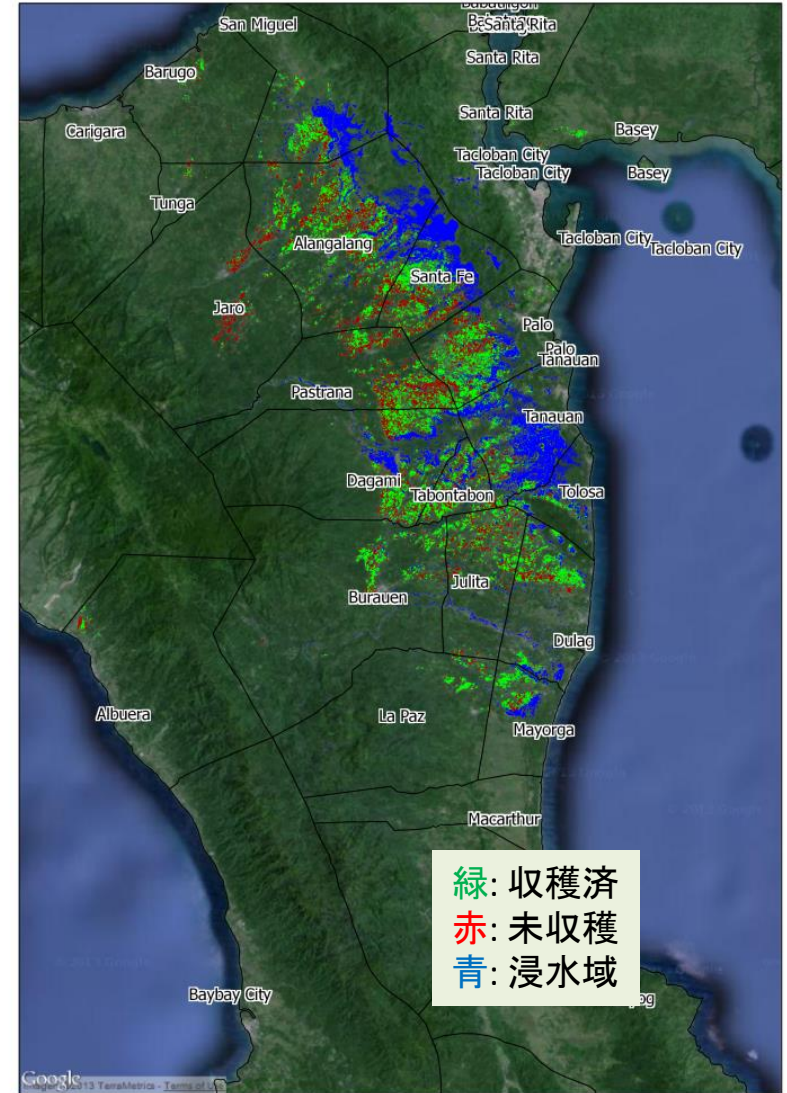
農業への利用



台風による稲作の被害状況把握

市町村	稲作面積	洪水面積
Alangalang	3,079	939
Albuera	58	2
Burauen	570	124
Dagami	1,757	681
Dulag	1,055	370
Jaro	400	14
Julita	1,017	140
La Paz	209	17
Mayorga	395	199
Ormoc City	0	1
Palo	2,104	402
Pastrana	1,427	71
San Miguel	711	611
Santa Fe		781
Tabontabon	861	227
Tanauan	1,628	1,545
Tolosa	286	376
Total	17,272	6,501

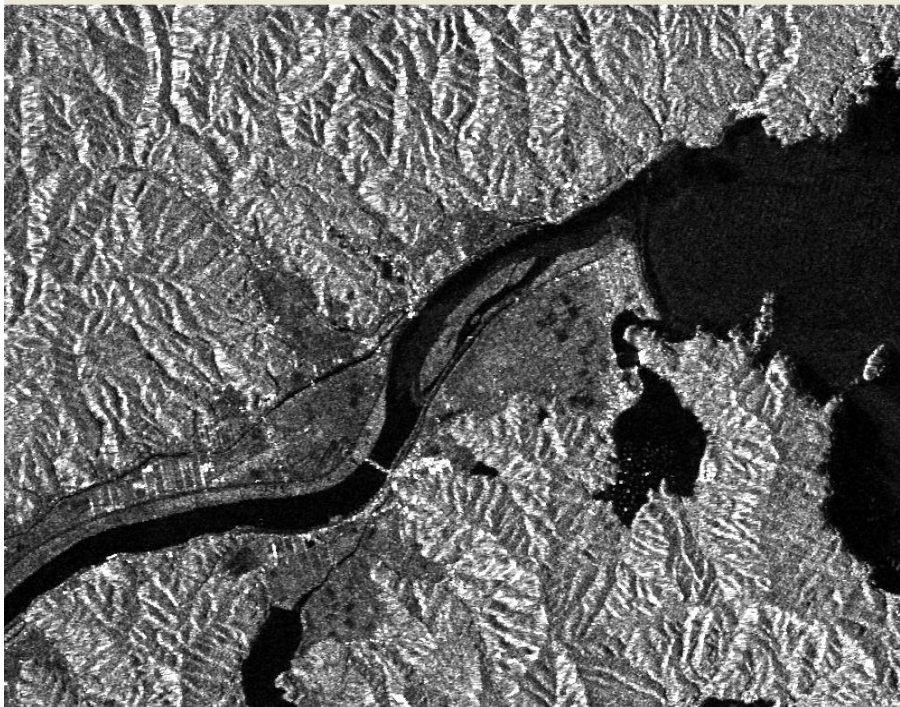
稲作地洪水被害面積 = 3,000 ha
未収穫米がある洪水稲作地 = 1,000 ha
(20の観測サイトのうち、18サイトではすでに収穫が済んでいた)



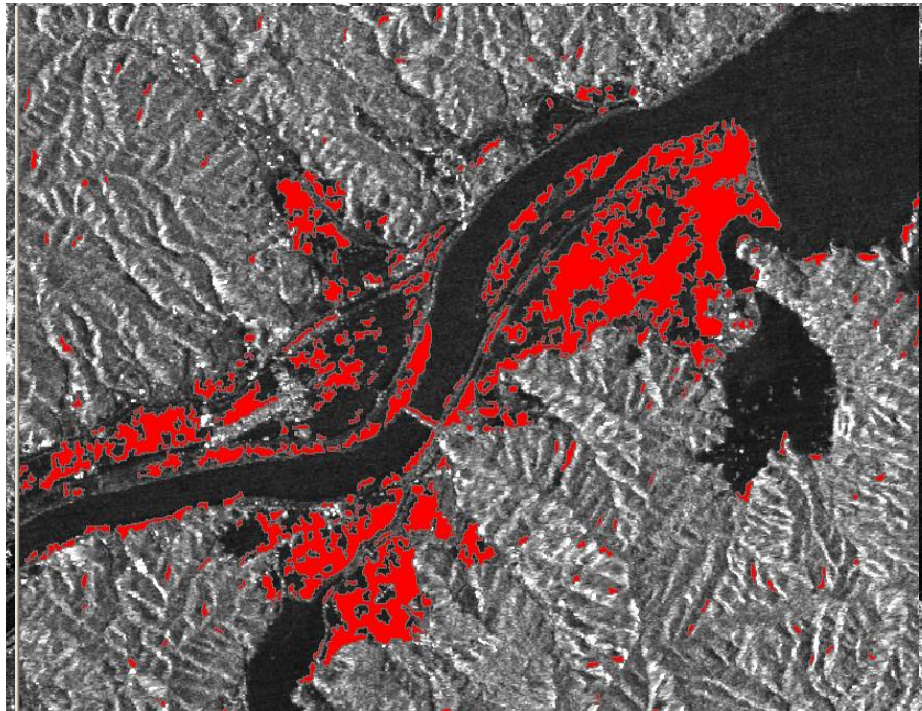
災害監視・把握

津波による被害浸水息の特定

■ 石巻市北上川河口



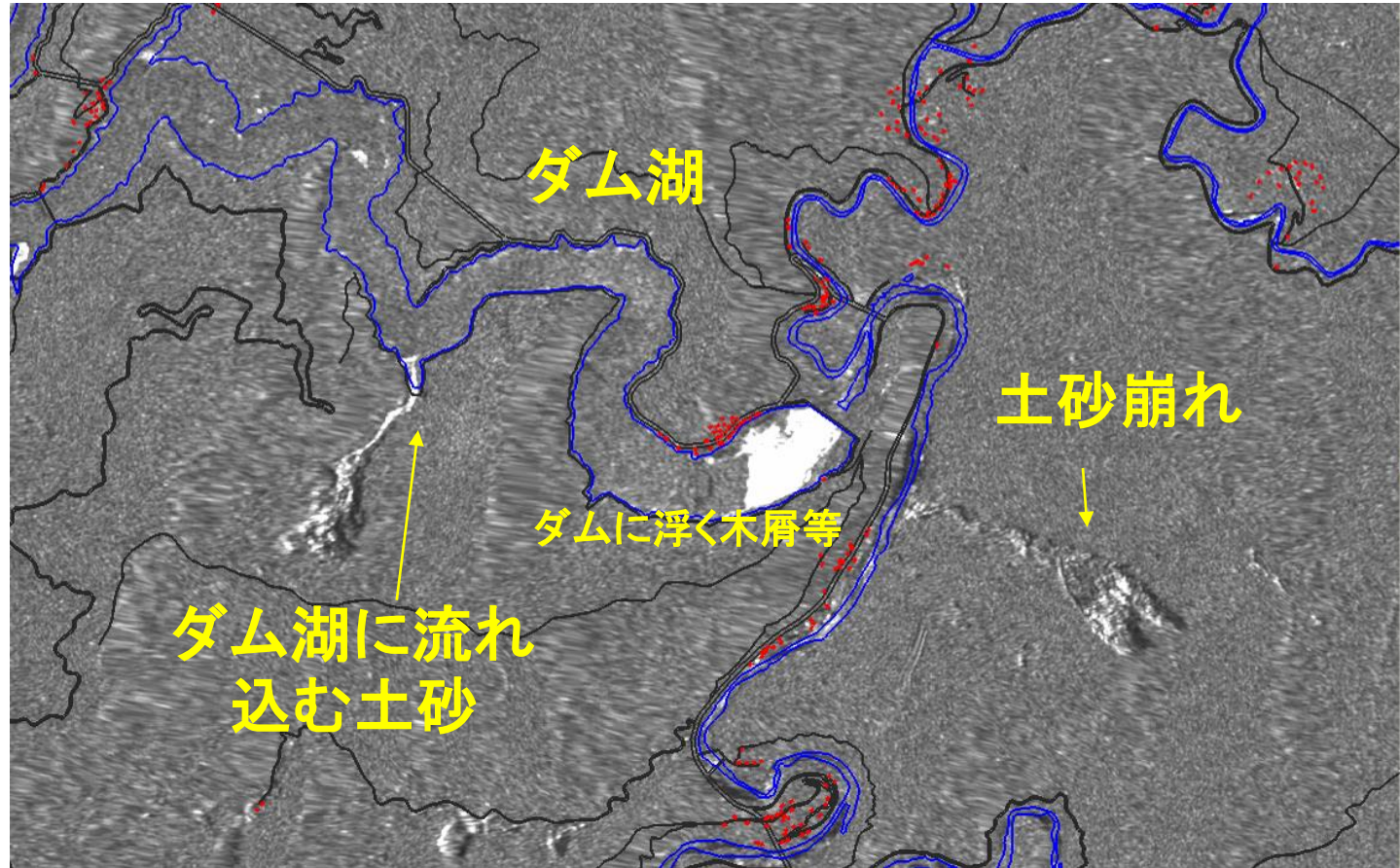
PALSAR 2010/10/28



PALSAR 2011/3/15

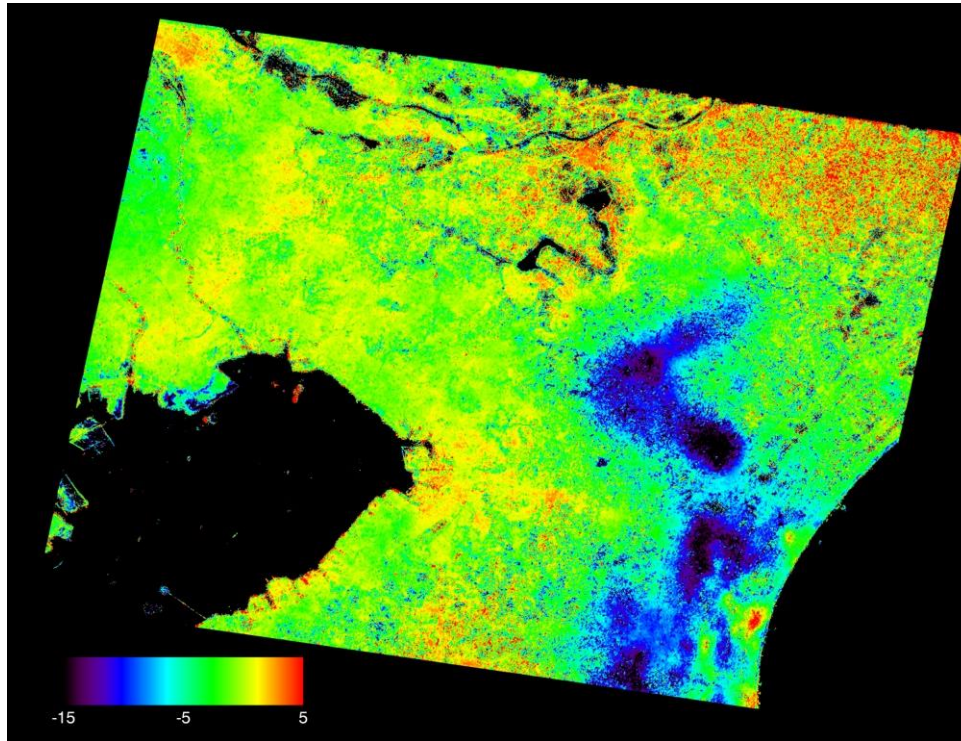
災害監視・把握

豪雨による土砂くず・土砂崩れ場所の特定



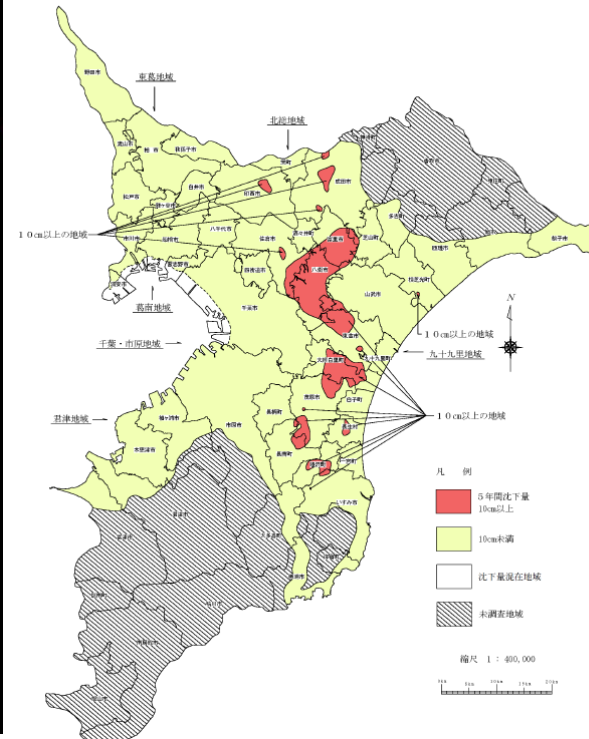
地盤変動モニタリング

地盤沈下監視



PALSAR干渉SAR時系列解析による年間変動

千葉県水準基標変動図（5年間変動図）
（平成19年1月～平成23年11月～平成24年3月）

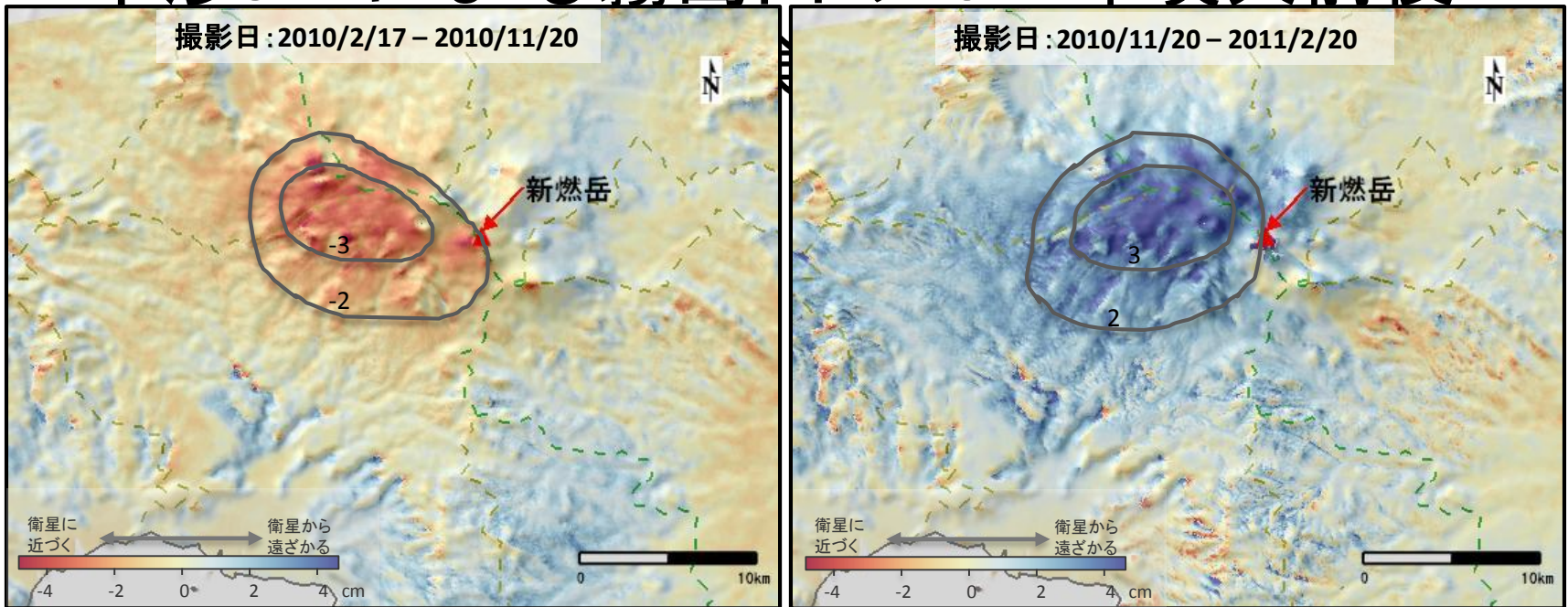


千葉県の地盤沈下調査

地盤変動モニタリング

火山監視

- 干渉SARによる霧島山の2011年噴火前後

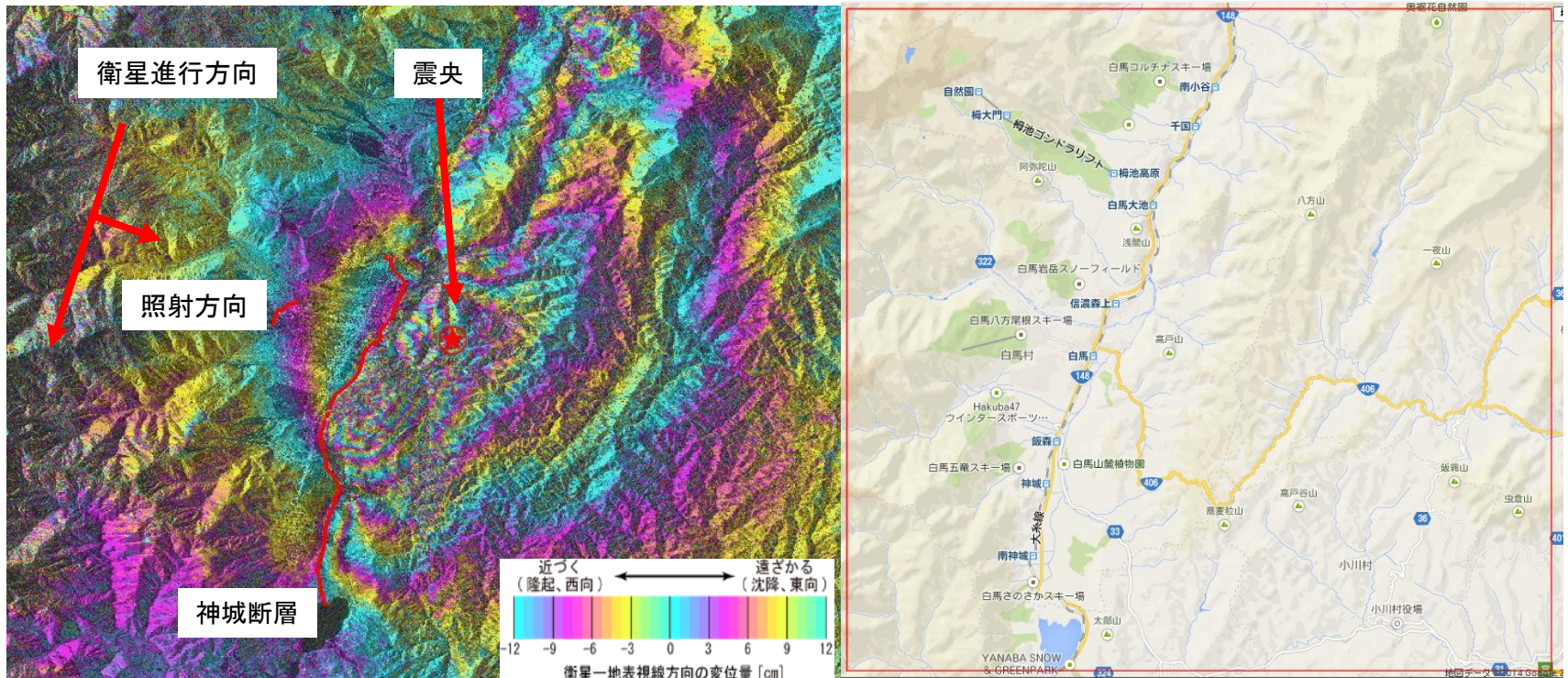


噴火前の山体膨張

噴火後の山体収縮

地盤変動モニタリング

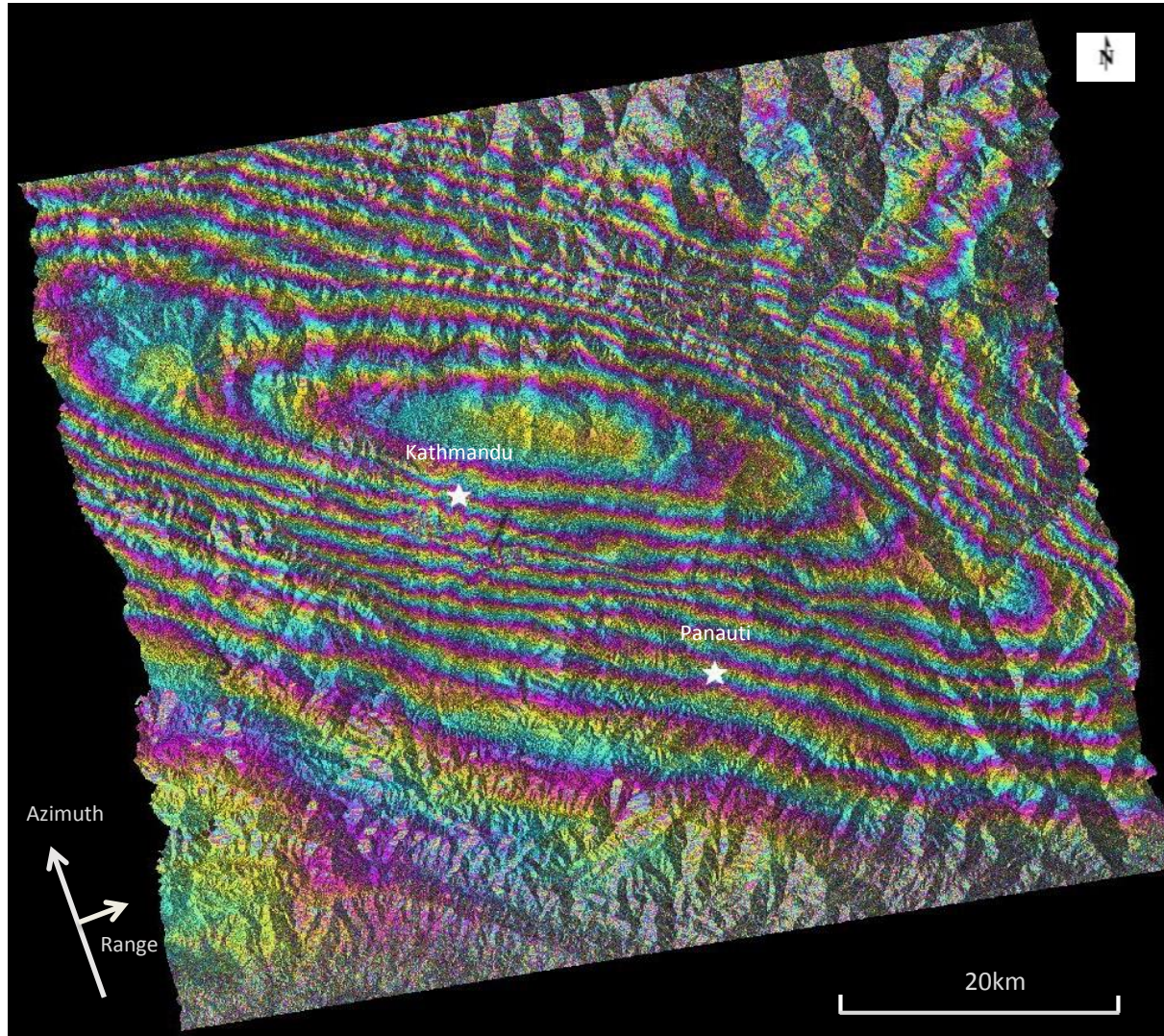
長野県北部白馬での地震



PALSAR-2 干渉SARによる2014年11月長野県地震の変動解析

地盤変動モニタリング

ネパール(カトマンズ)地震

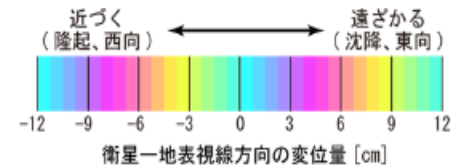


変動量:

LOS 方向(オフナディア角 36.3度)

カトマンズ周辺で、12本ほどの位相FRINGEが見られ、約140cmほど衛星方向へ近づく変動が見られており、地盤が隆起したとも考えられる

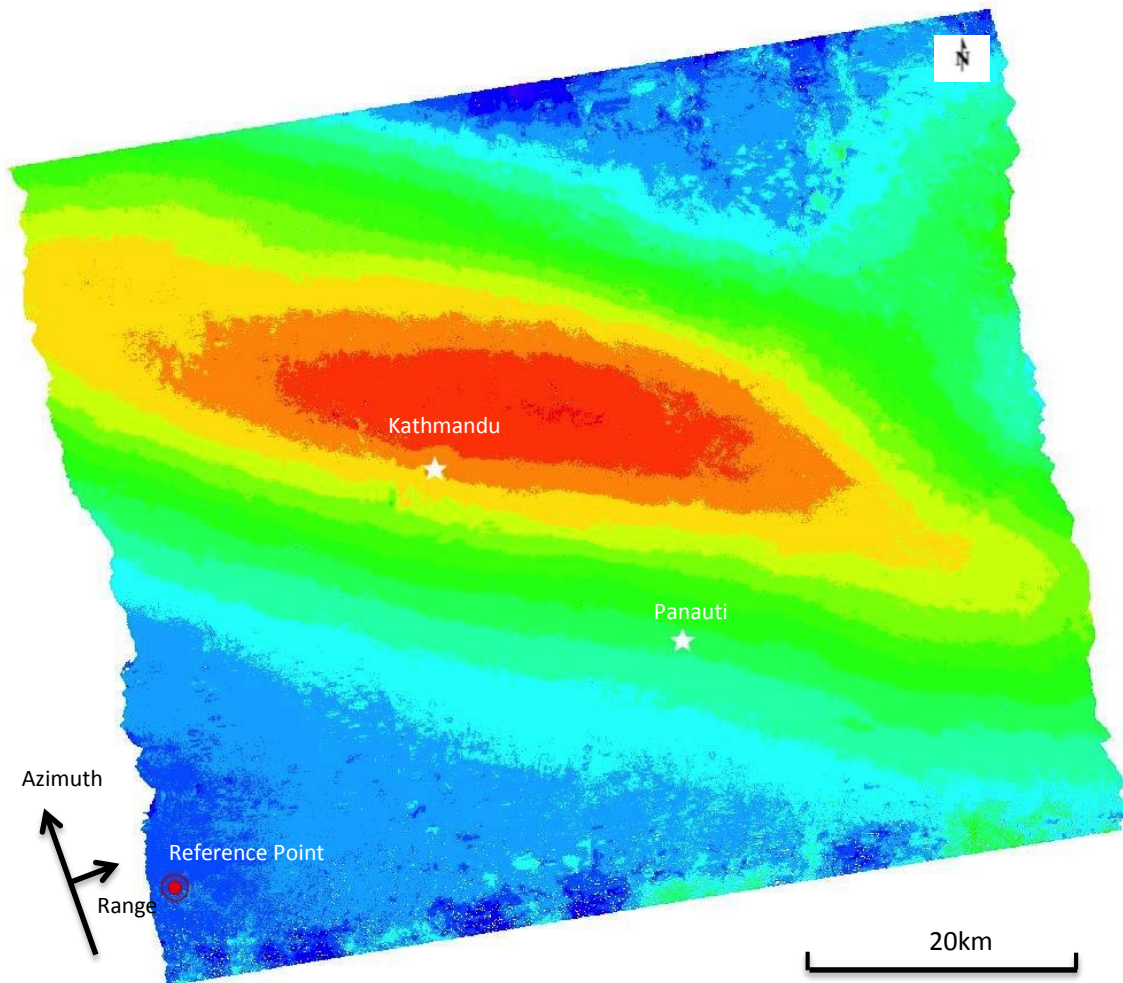
注) 画像端の比較的安定地点からの相対変動量



地盤変動モニタリング

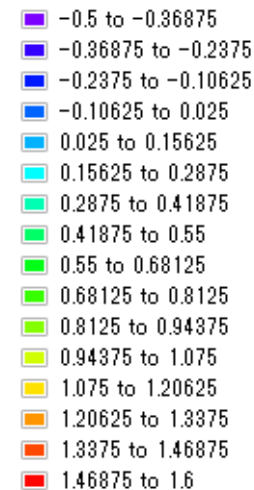
ネパール(カトマンズ)地震

位相を変動値へ変換した地表面変動量のグラデーションマップ



左下を参照点とすると、カトマンズ北東近郊で最大1.5mほどの衛星視線方向に近づく変動が見受けられる

LOS 方向変位 (m)



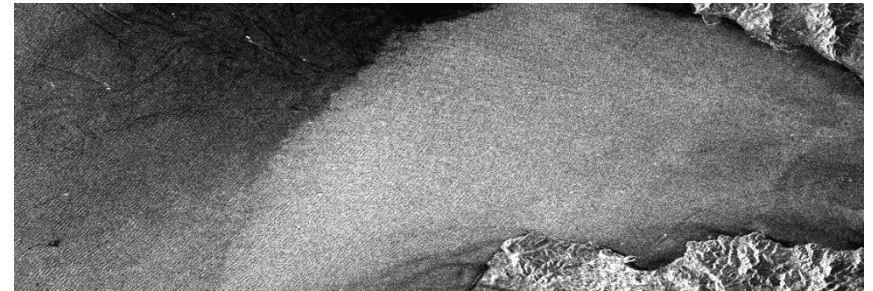
海洋学

船舶検知の利用

■ 偏波の違いによる水上人工物の検知

- VV偏波の画像、
少し船舶は確認できるが、
波紋も顕著

- HV偏波を見ると、
波紋が消え、
見えなかった船舶も
検知できた！



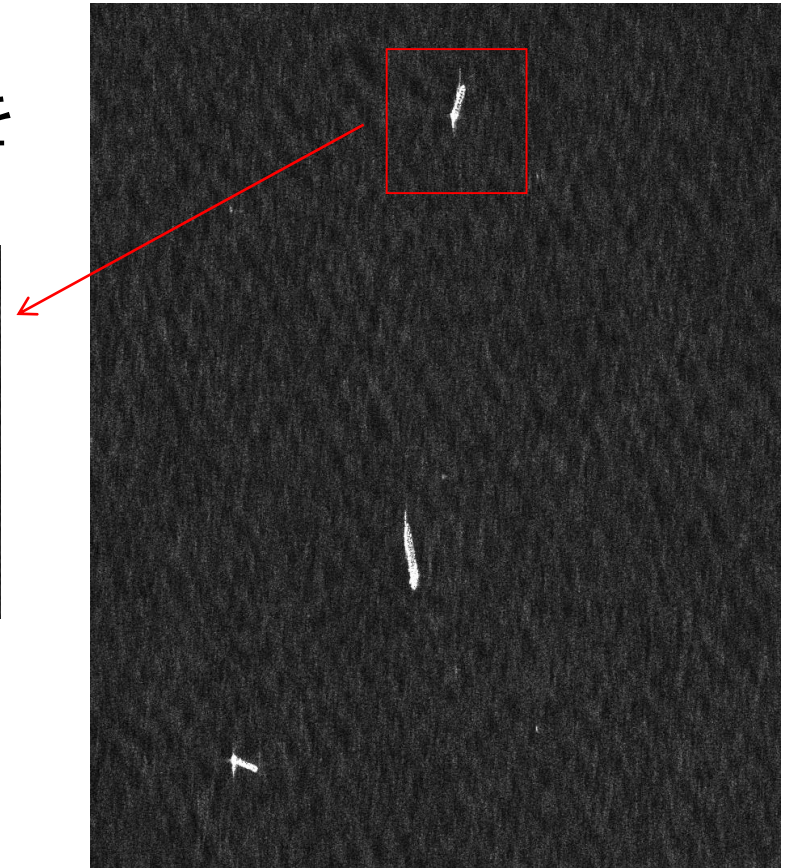
VV偏波画像



VH偏波画像

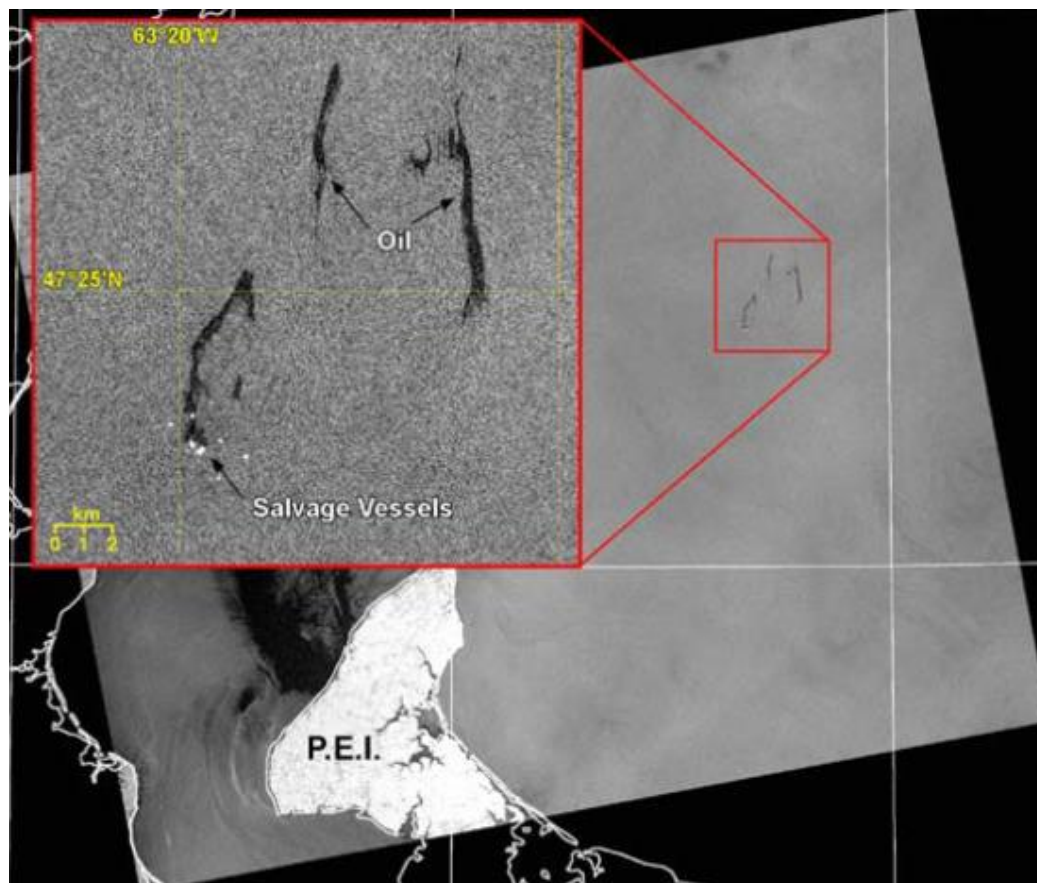
船舶検知

- SARは水上の垂直構造物を検知しやすい



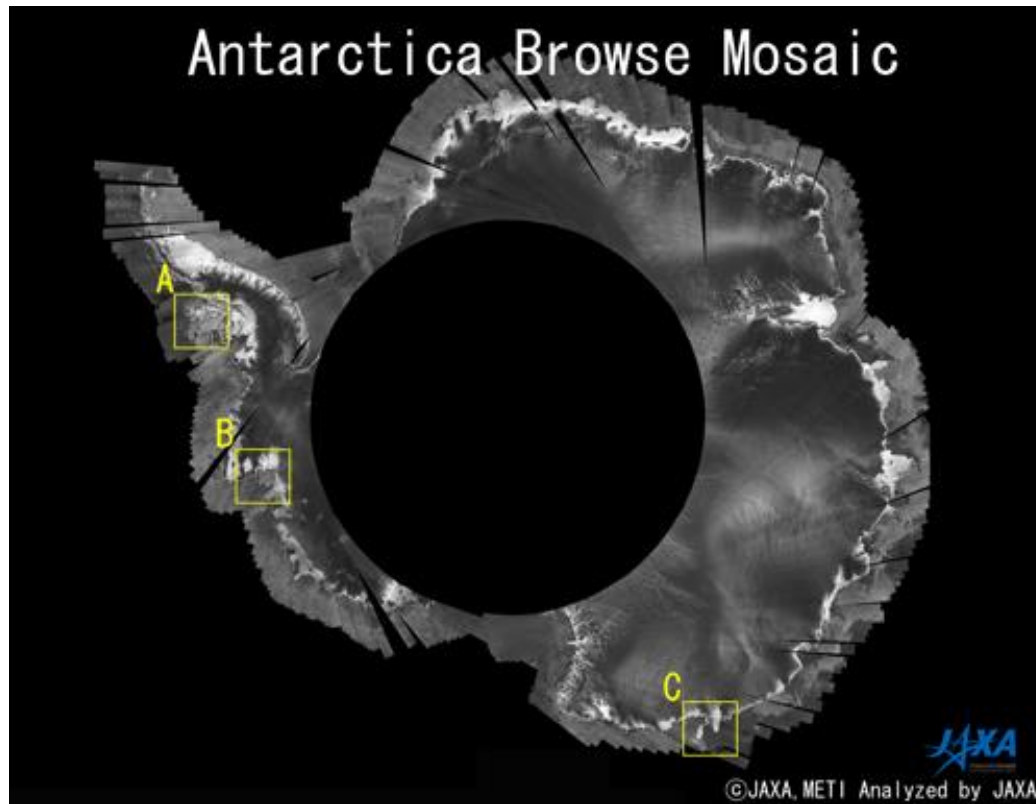
原油流出検知

海上の船舶による原油流出



海水監視

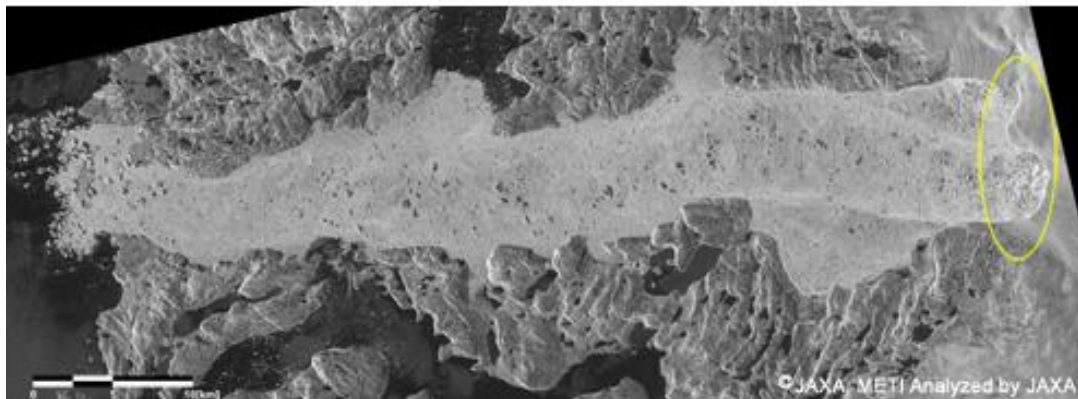
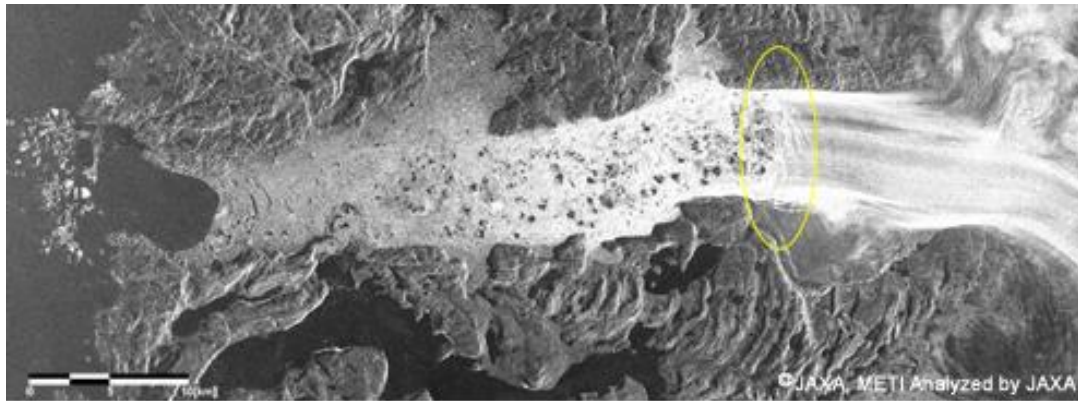
南極の海水監視の利用



PALSARによる南極モザイク

氷河監視

氷河監視の利用

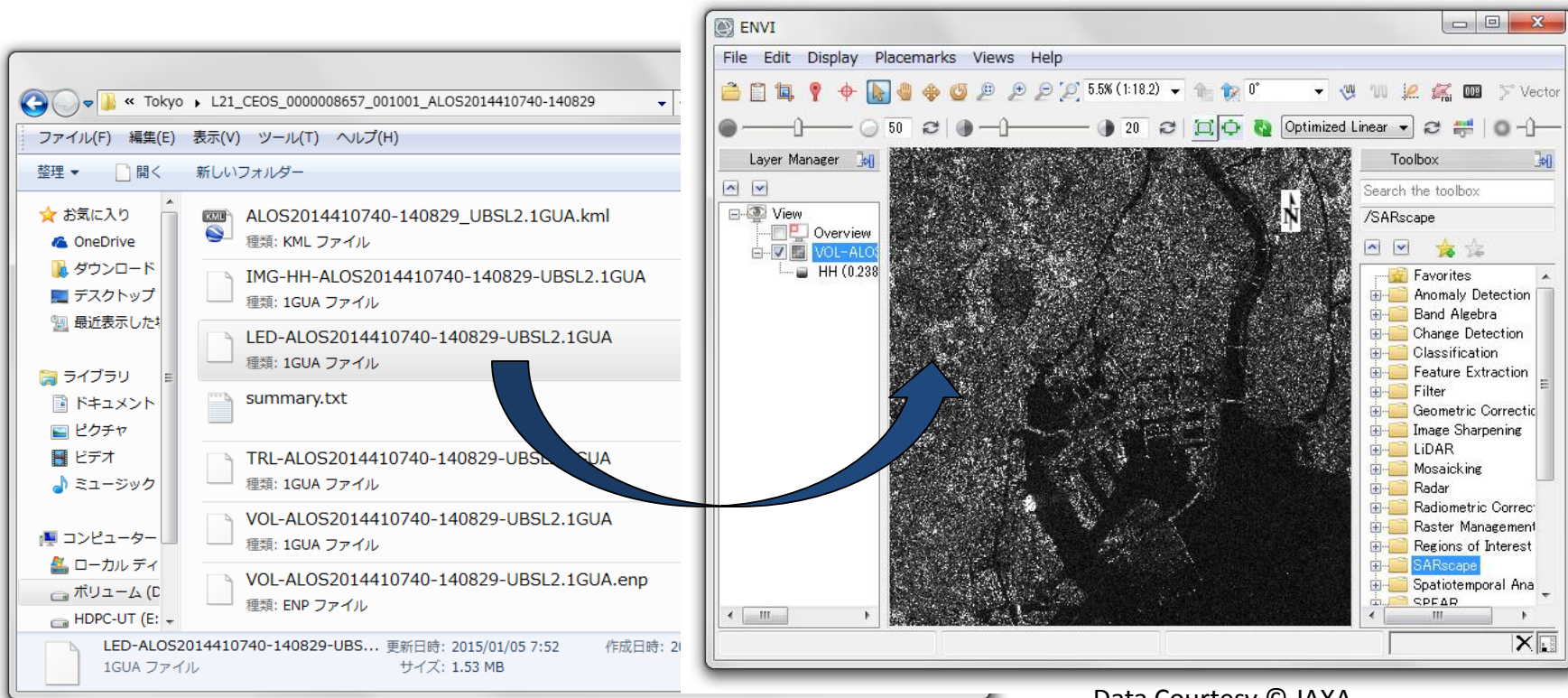


(上) JERS-1 SAR 1994年10月4日 (下) ALOS PALSAR 2007年8月3日

ENVI5.2SP1のPALSAR-2対応

PALSAR-2データの読み込みに対応

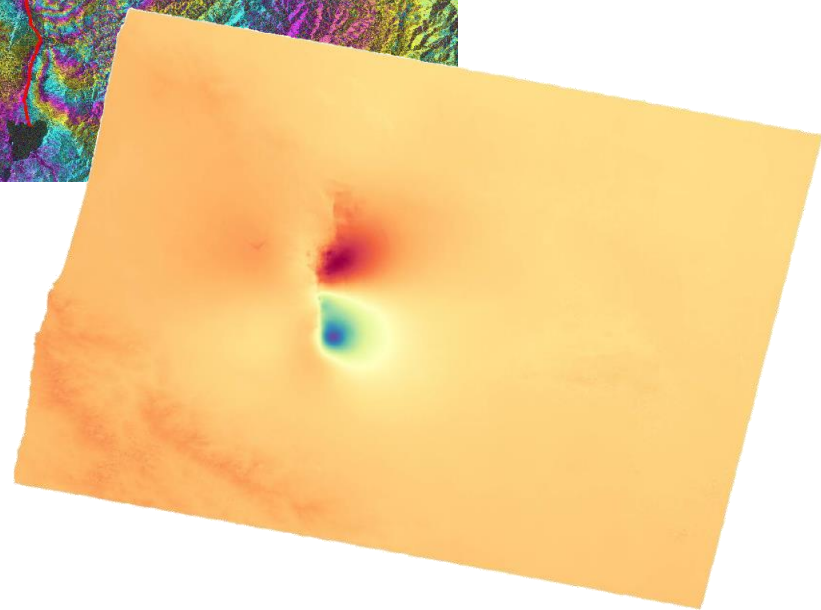
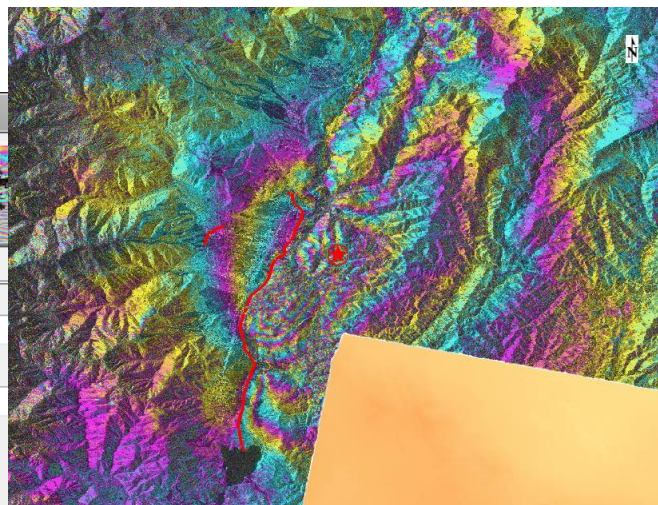
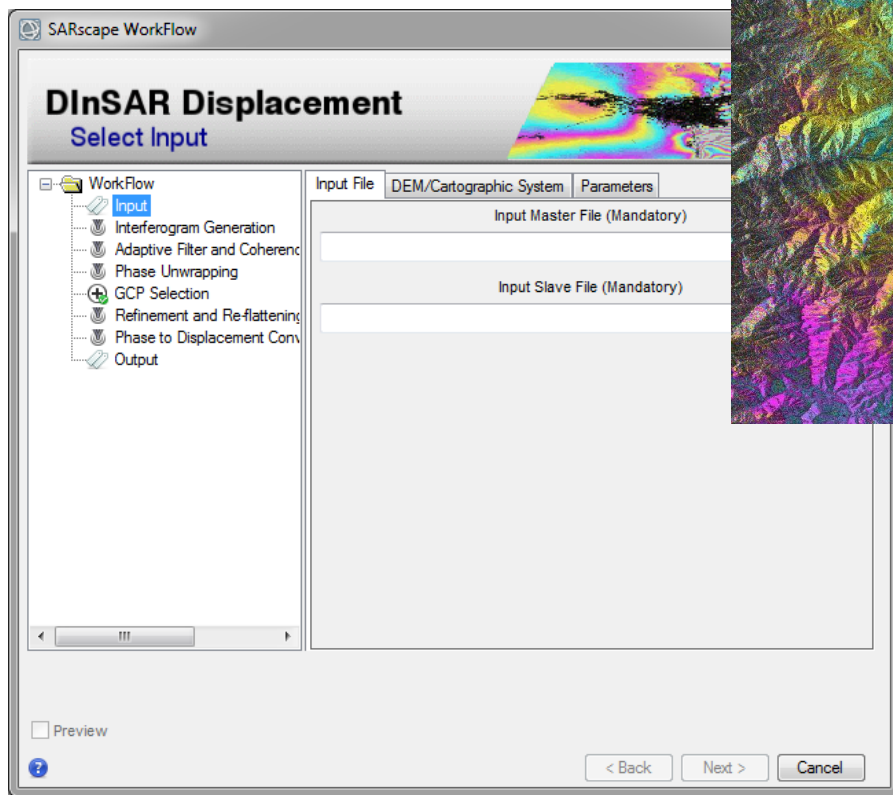
- PALSAR-2 CEOSをドラッグアンドドロップで読み込み



Data Courtesy © JAXA

SARscape5.1.1のPALSAR-2対応

DInSAR変動マップ作成

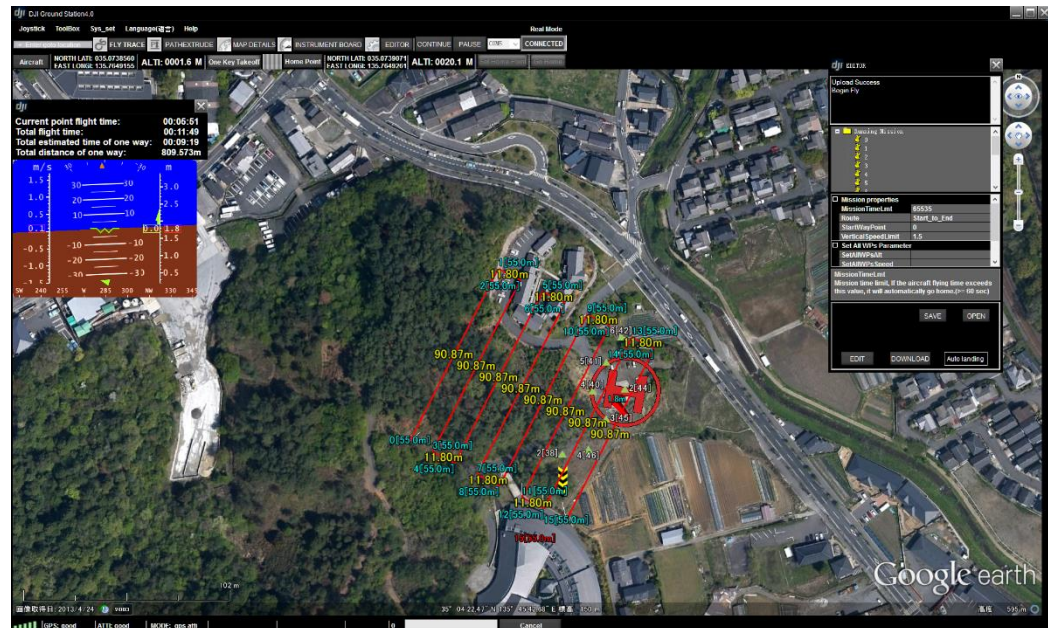


ドローンとリモートセンシングの融合 — 超高解像度画像と三次元モデルの作成 —



ドローンを使った画像の取得と解析

デジタルカメラを取り付けた
Phantom IIとJPCを無線接
続しオートパイロットプロ
グラムを作成。



地上にマーカ―を設置
し、高精度なGPSで緯度
経度および高度を計測。

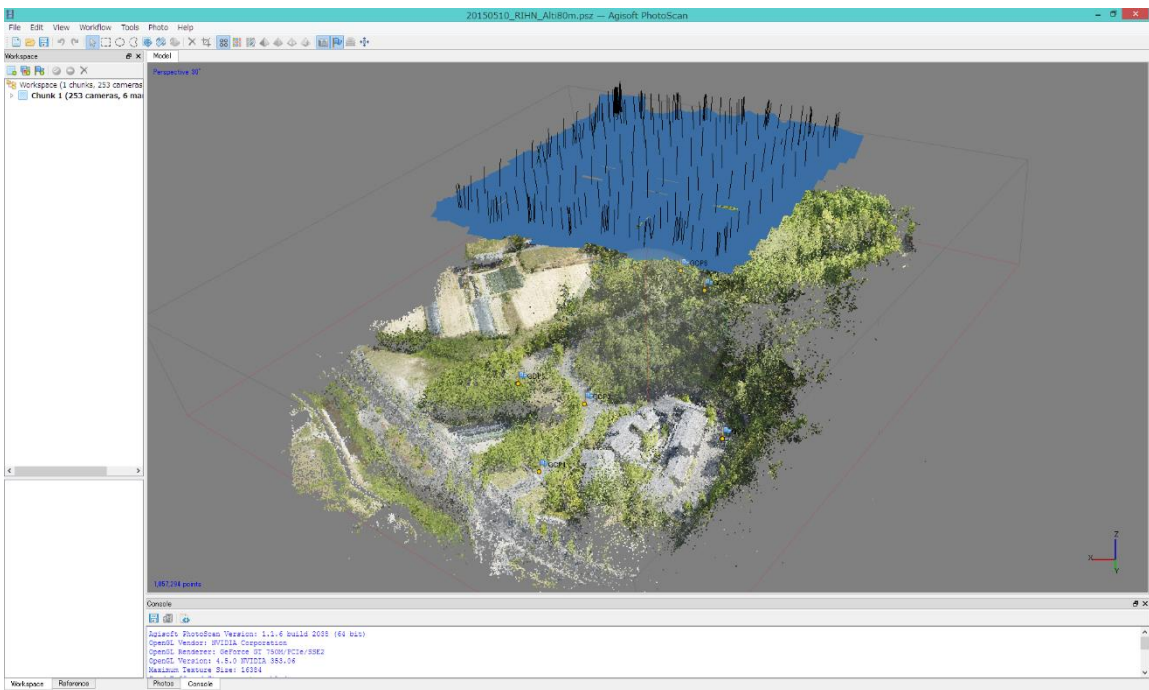


ドローンを使った画像の取得と解析

高度80メートルから、1秒毎の連続撮影を行い、切れ目のない画像を取得。



Agisoft PhotoScanに取り込み、3次元処理を実施。オルソ画像と地形データを生成。



結果:オルソ画像

利用例

- ◆ 現地調査のための地図の代替
- ◆ 高解像度な土地利用解析(ENVI FXやeCognitionを使ったオブジェクト分類)
- ◆ 局所的に取得した写真を、広域的な衛星画像解析を行う際のグランドトゥールースデータに利用



解像度2cmの超高解像度画像

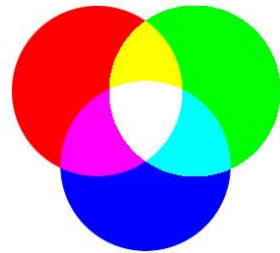


衛星画像解析への利用例 (ENVI SARscapeによる画像解析)

雲の無い鮮明なカラー画像 (黄: 森林、青: 裸地または疎な植生)



Jul. 23, 2010 HV
Dec. 8, 2010 HV
Coherence HH



衛星画像解析への利用例 (ENVI SARscapeによる画像解析)

ENVI Classification Workflowを用いた教師付分類

The screenshot displays the ENVI software interface during a supervised classification workflow. The main window shows a satellite image of a landscape, with different areas color-coded to represent different land cover types. The Layer Manager on the left lists various layers, including multiple 'Polygon' layers and a 'Mask_Band'. The Classification Workflow toolbox on the right shows the 'Supervised Classification' process. The 'Supervised Classification' dialog box is open, showing training data for 'Grass Land' and 'Acacia Plantation'.

Supervised Classification
Define Training Data

Training Data

- Grass Land [17 Regions]
- Land Preparation [7 Regions]
- Acacia Plantation [8 Regions]
- Secondary Forest [9 Regions]
- Rubber [13 Regions]
- Oil Palm (mature) [8 Regions]
- Water [3 Regions]
- Wet Land [3 Regions]
- Bush [3 Regions]
- Oil Palm (young) [10 Regions]

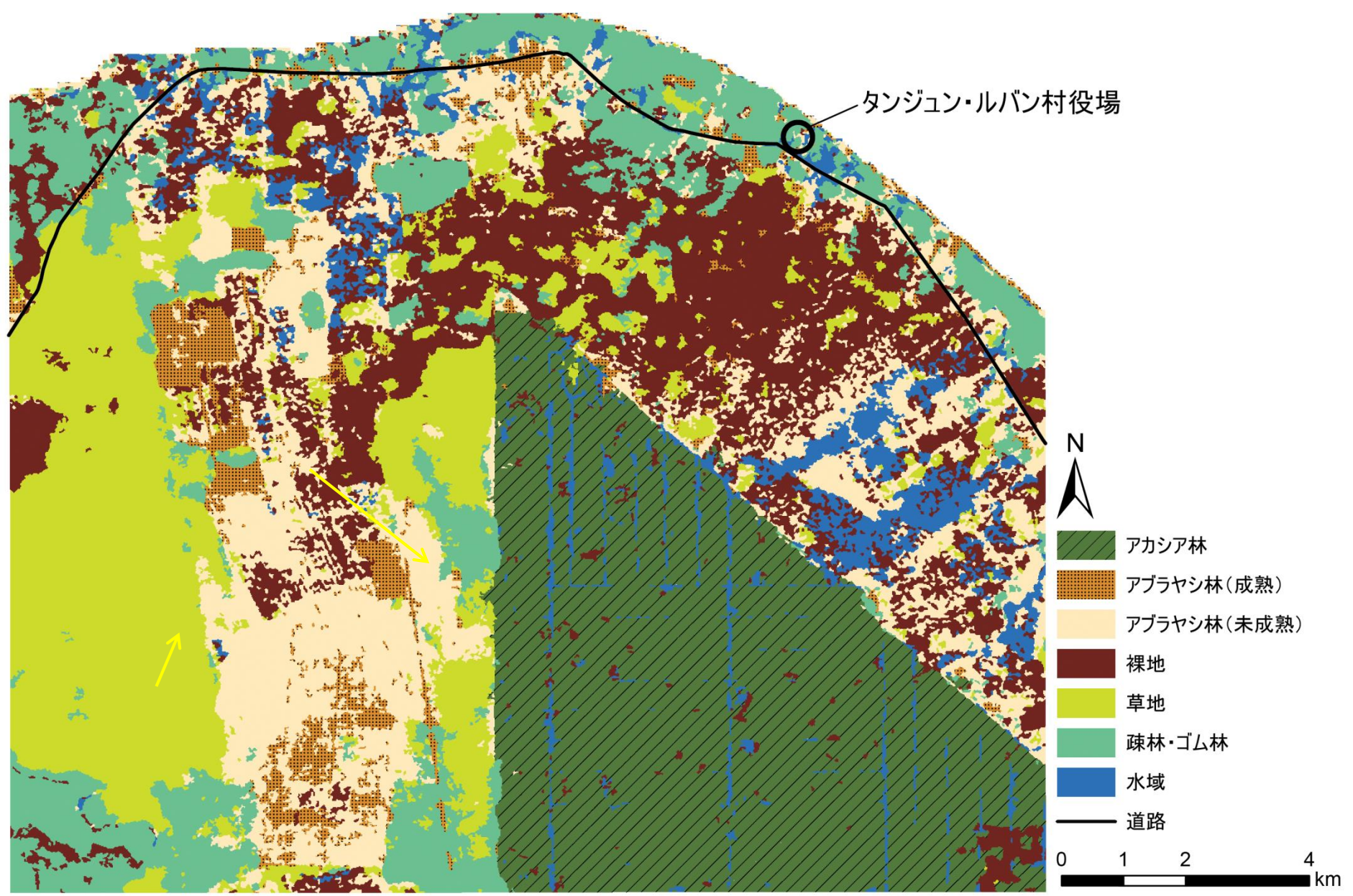
Properties | **Algorithm**

Class Properties	
Class Name	Grass Land
Class Color	(255,255,160)
Fill Interior	Solid

Preview

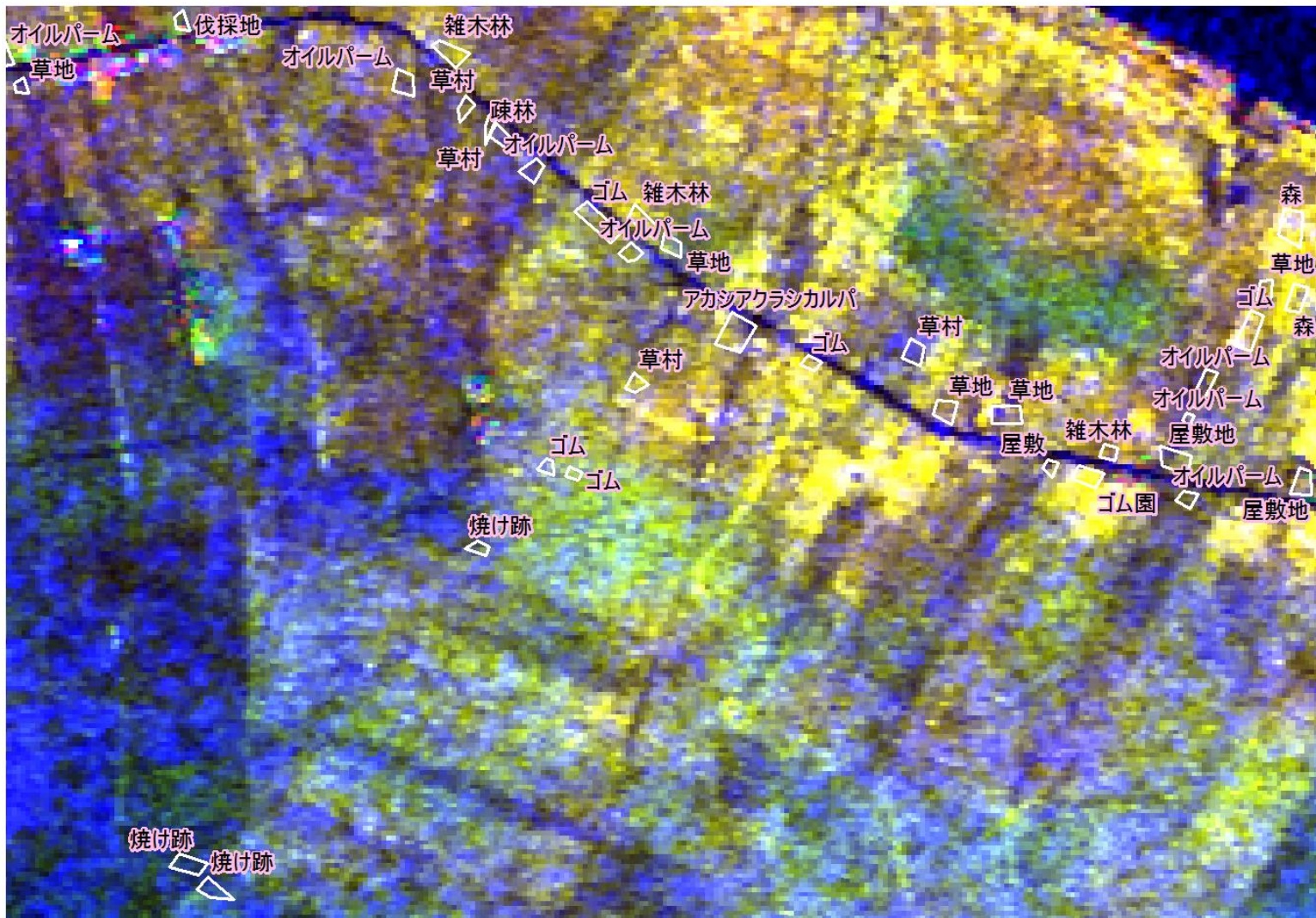
< Back Next > Cancel

分類結果：土地利用（2010年）

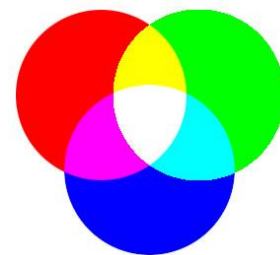


現地調査結果のマッピング

この部分をGPSを持って歩くのではなく、ドローンで行う！



Jul. 23, 2010 HV
Dec. 8, 2010 HV
Coherence HH



衛星画像解析への利用例(森林火災状況の把握)

人が立ち入れないような場所の観測を、ドローンで行う！



Feb. 11st 2002, LANDSAT Image

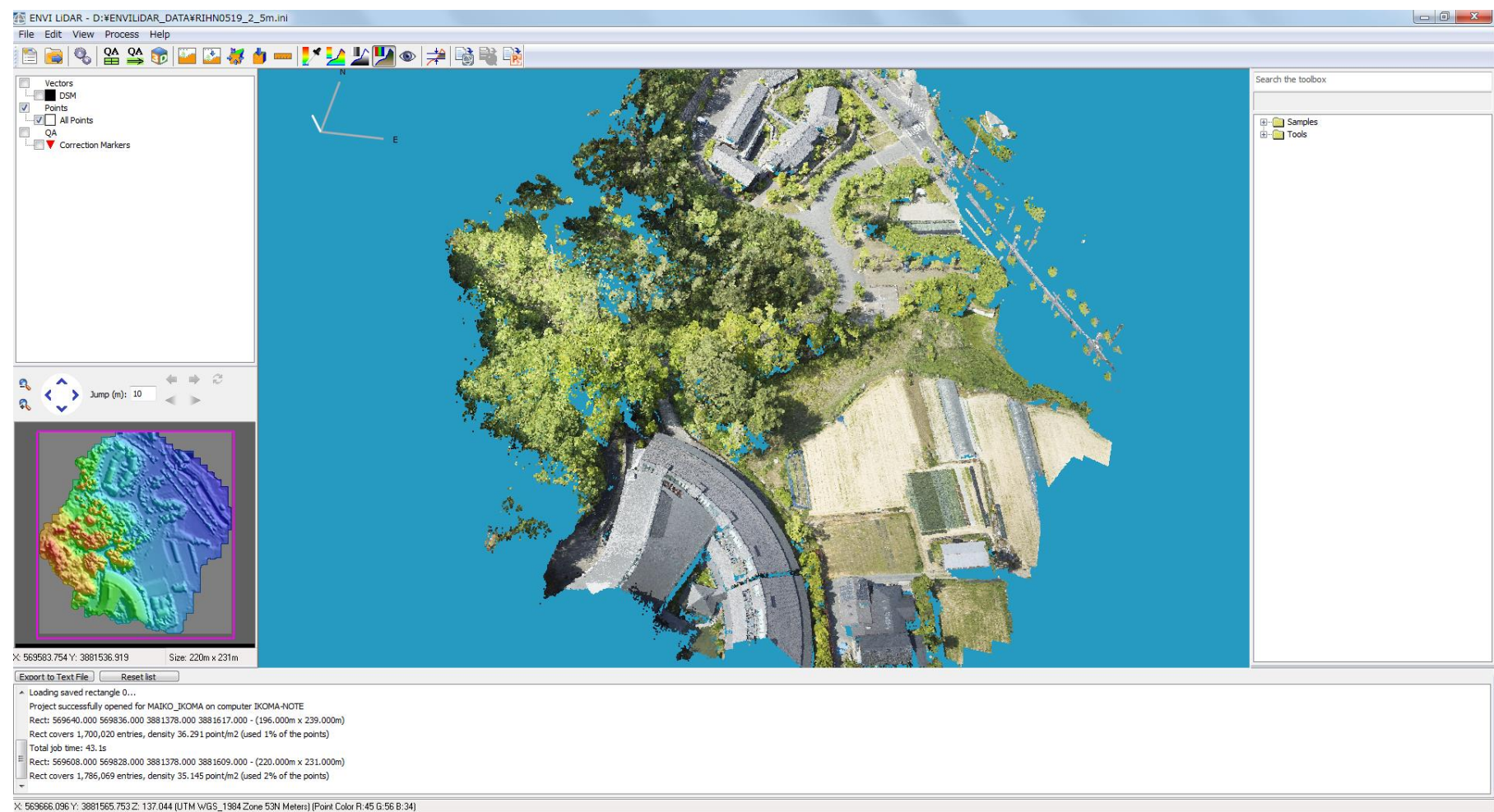
(Source: USGS)



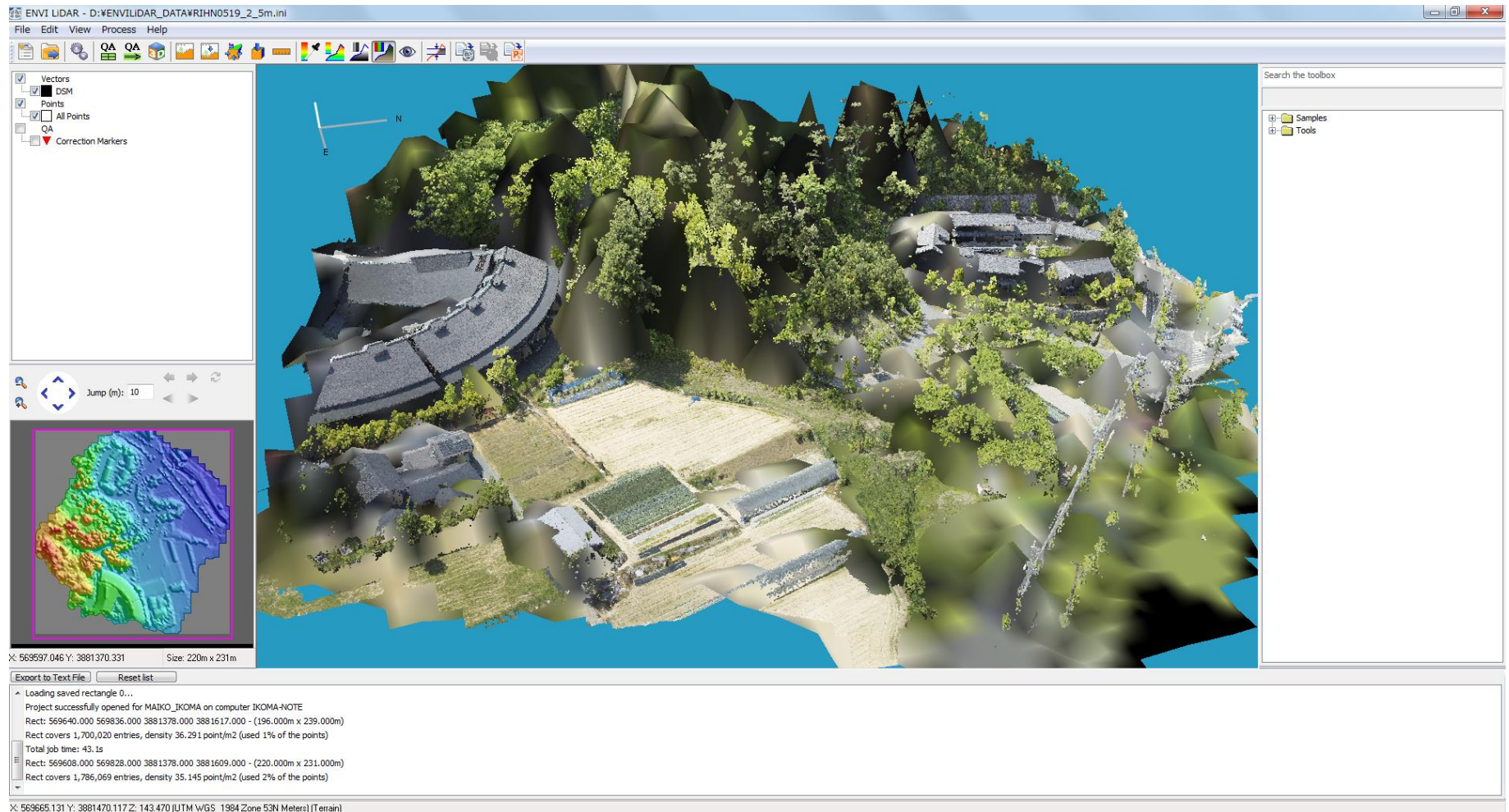
November 3rd 2010

(Photo by Kazuya Masuda)

ENVI LiDARへデータ読み込み



読み込みと同時にDSM作成



各種パラメータの設定

出力項目

The image displays three overlapping dialog boxes from a software application, likely related to terrain data processing. The top-most dialog is the 'Project Properties' window, with the 'Production Parameters' tab selected. A red rectangular box highlights the 'Products File Names and Formats' section, which contains a list of output items with checkboxes. The 'DEM Advanced Production Parameters' dialog is open in the foreground, showing a dropdown menu for 'DEM Sensitivity' with the following options: 1 - Flat, 5 - Very Low, 10 - Low, 20 - Medium Low, 30 - Medium, 40 - Medium High (highlighted), 50 - High, 100 - Very High, and 300 - Ultra High. Other visible settings include 'Filter Database Edges' (unchecked), 'Variable Sensitivity Algorithm' (checked), and 'Auto CPU Cores' (checked).

Project Properties - Production Parameters

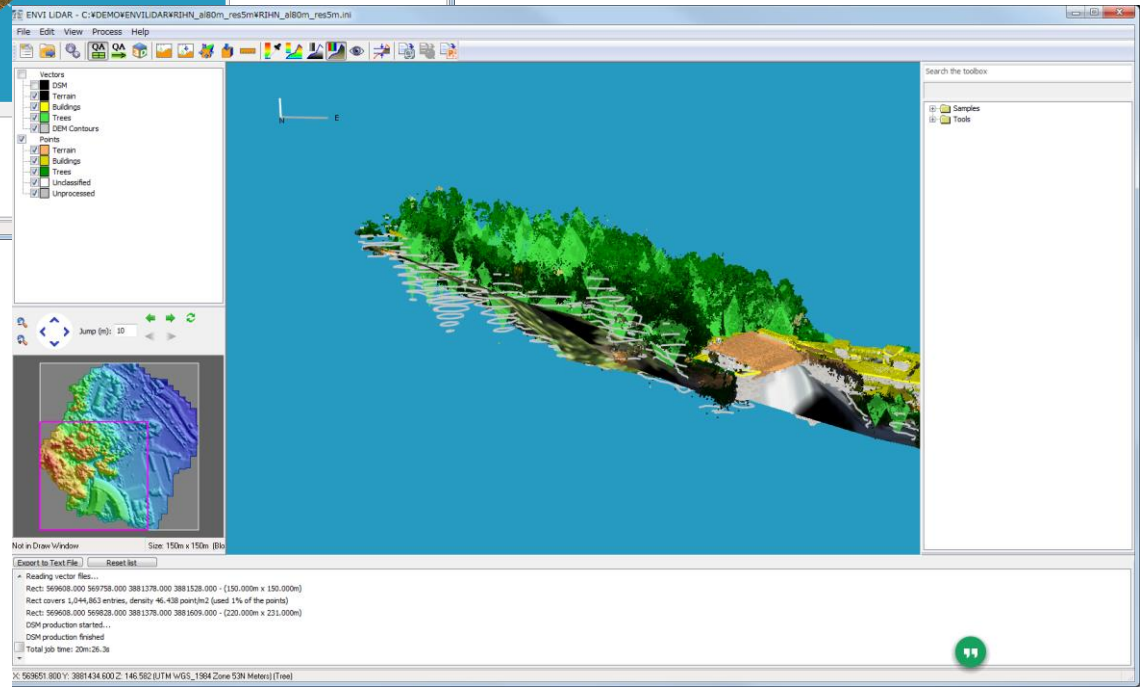
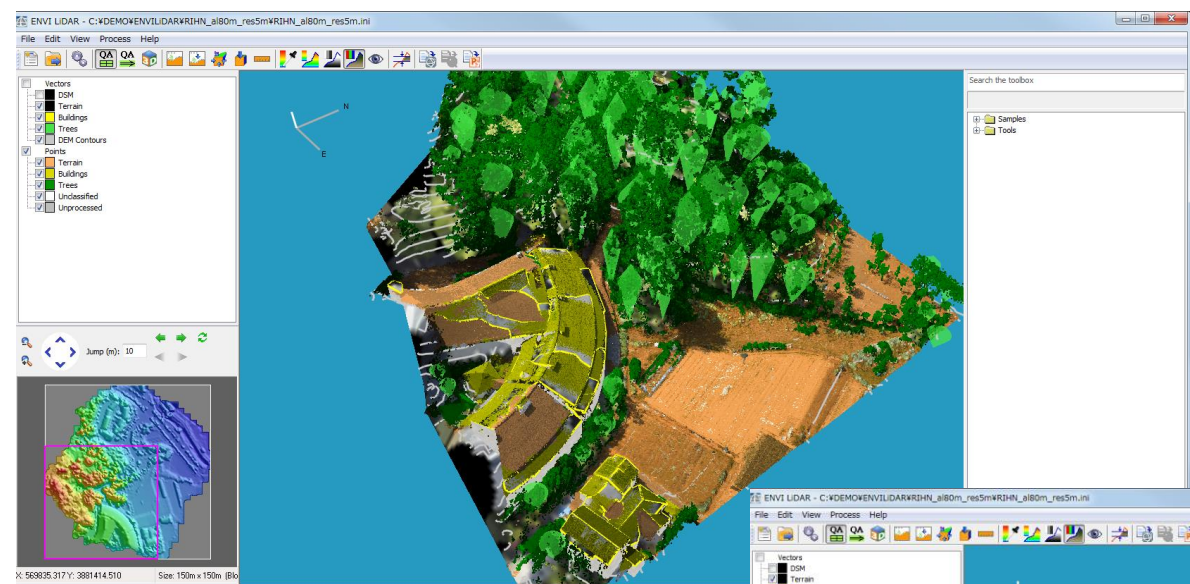
- Produce Orthophoto
- Produce DSM
- Produce DEM
- Produce Buildings
- Produce Trees
- Produce Power Lines
- Produce Point Cloud
- Produce DEM Contours
- Produce Terrain TIN
- Produce 3D Viewer Database

DEM Advanced Production Parameters

- Filter Database Edges
- Variable Sensitivity Algorithm
- DEM Sensitivity: 40 - Medium High
- Constant Height Offset: 5 - Very Low

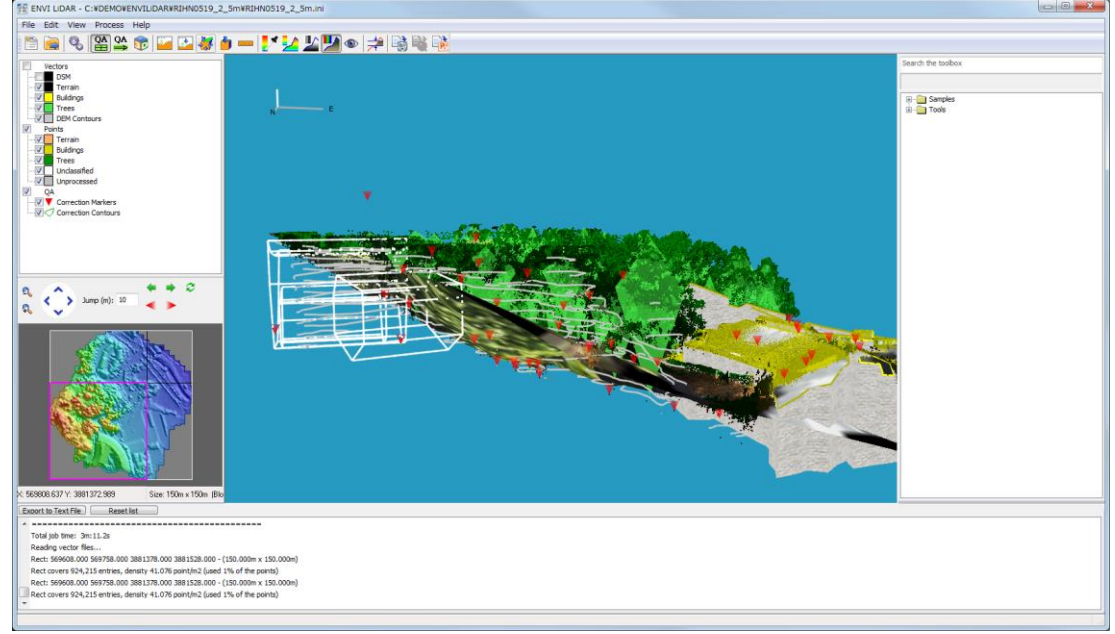
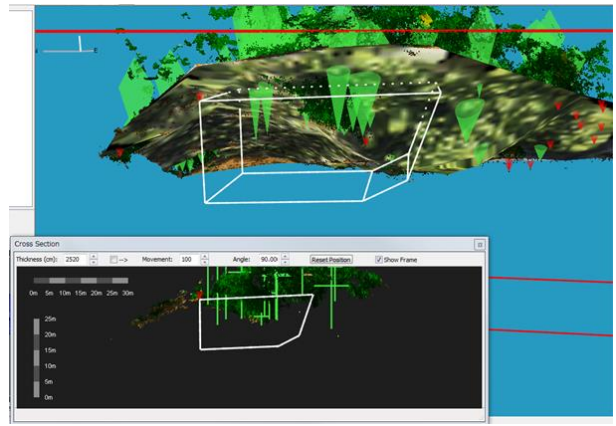
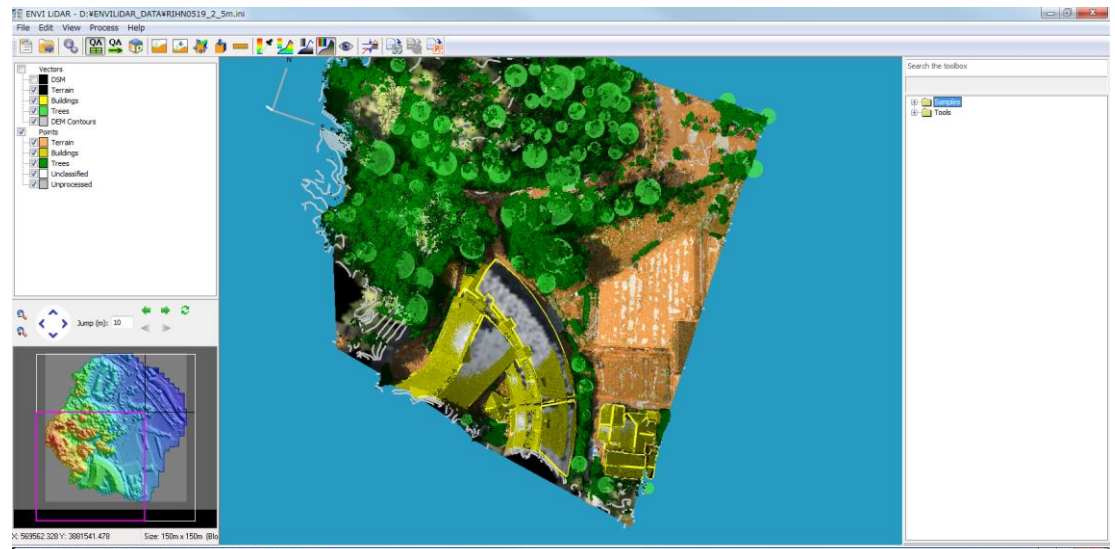
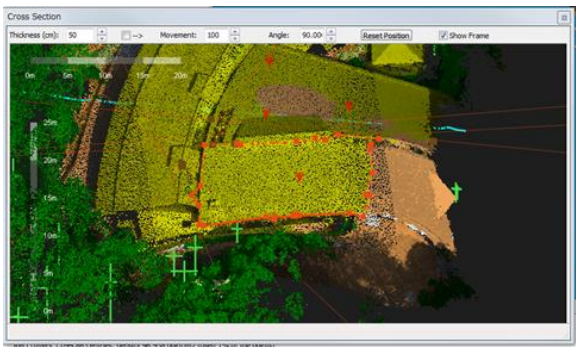
結果：地形データの取得

出力結果



結果：地形データの取得

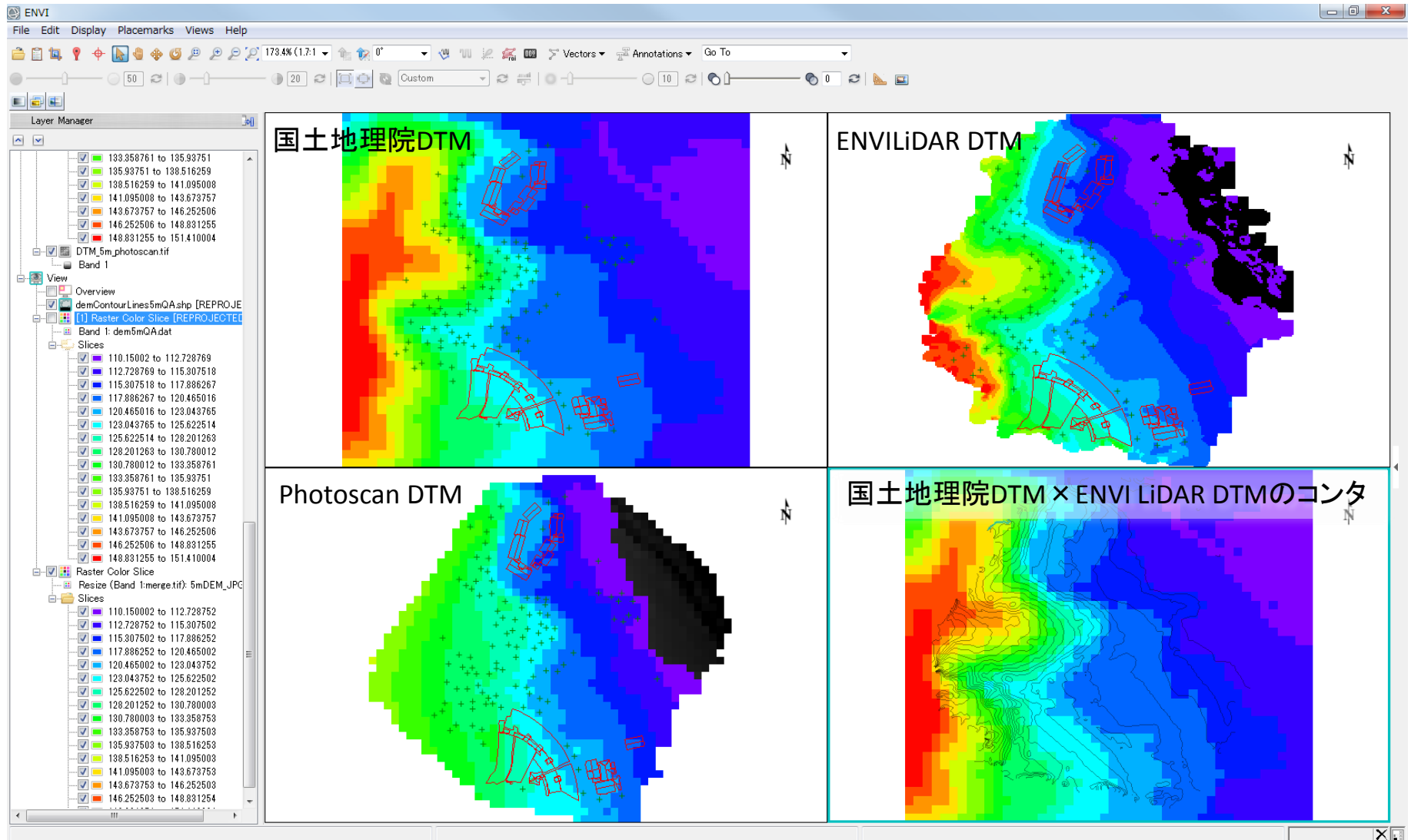
建物とDTMの修正と結果



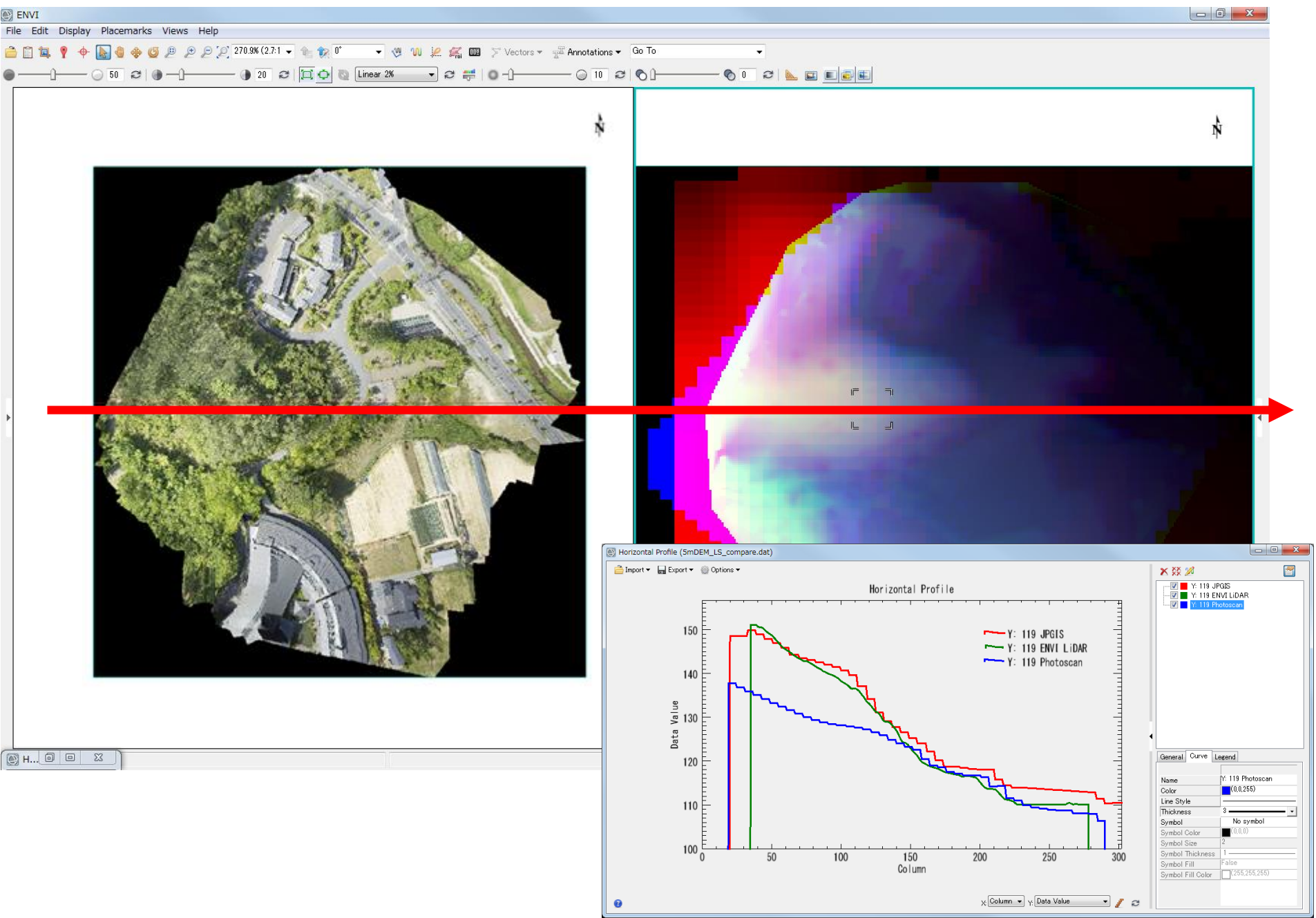
地形データの精度検証

総比較

➤ 国土地理院DTM × ENVI LiDAR DTMのコンタを見ると、傾斜もある程度類似！



地形データの精度検証

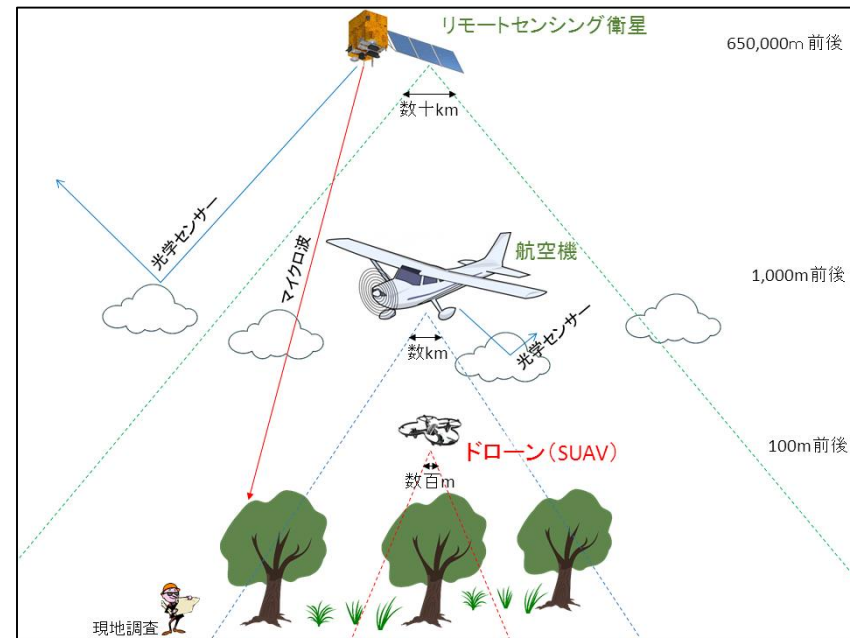


ドローンによって得られる新しい視点

→地域を鳥瞰する目

- 高解像度画像および高精度地形情報(DSM,DTM)を容易に取得
- 広域と局所域のシームレスな接続
 - ローカルレベル情報をメソスケールレベルに拡大
 - メソスケールレベルの現象をローカルレベルで確認

これまでのセンサー解析技術(ENVI,ERDAS)、マッピング技術(ArcGIS)がそのまま利用できる



- ドローンのフィールド科学活用研究会（通称：ド研）
メーリングリスト登録受付中！

Facebookコミュニティ：

<https://www.facebook.com/groups/458393260990199/>

- 本の出版

素人がどうやってドローンを利用できるようになり、どのような使い方をしているのかを、素人に分かりやすく書きたいと思っています。著者募集中です！

詳しくは、渡辺まで。