



資源および構造物モニタリング技術としての 干渉SARの戦略展開

平成25年8月23日

東京大学

人工物工学研究センター／

大学院工学系研究科

教授 六川 修一

- 六川修一 (Rokugawa Shuichi)
 - 人工物工学研究センター／工学系研究科 教授
(共創工学研究部門)
 - 宇宙利用産業政策論
 - リモートセンシング学
 - 物理探査工学
- 主要歴任
 - 公社)物理探査学会会長
 - 物理探査技術とその応用に関する学術団体
 - 一社)日本リモートセンシング学会会長
 - 衛星データの学術振興および実利用を推進する学術団体
 - 衛星データ利用ビジネスコミュニティ 会長
 - 衛星データ利用産業の育成、振興をめざす産業界ユーザコミュニティ
 - 宇宙戦略本部 リモートセンシング政策検討WG 主査
 - 宇宙基本法/宇宙基本計画に基づき、わが国の衛星地球観測の今後の政策や技術戦略の立案を行う組織

- わが国が置かれた背景の認識
 - 資源・エネルギー安全保障・地政学に対する重要性の認識
 - インフラメンテナンス戦略が現在の重要課題
 - わが国を含め、アジア域の防災戦略が社会の要請
 - 重要性が増す北極圏等周辺海域への影響力確保
 - 欧州に比し、わが国のレーダ利用技術の停滞感
- 宇宙利用技術の戦略
 - 実利用衛星に視点を置く宇宙基本計画とその進展
 - 出口戦略を見据えたシステム技術開発の必要性
 - 従来のリモートセンシングとは本質的に異なる干渉SAR技術の登場
- 干渉SAR技術の活用分野の急拡大
 - 防災分野
 - 資源(石油・ガス、地熱)
 - インフラ管理(ダム、道路、橋、交通網)
 - 地下水、都市計画、不動産評価
- 干渉SARの基盤研究、実利用研究の仮題
 - 研究人材、費用の不足
 - 干渉SARの価値の社会啓蒙不足



- 俯瞰型観測データ(予防医学型)
 - (特徴)中分解能, マルチスペクトルデータによる広域・均一・繰り返し観測
 - (主体)国によるインフラ基盤データの整備, 継続観測, 統一されたデータ管理
 - (留意点)付加価値, 経済価値は見えにくいのが一般的
- 直接最終ターゲットを追求するデータ(臨床医学型)
 - (特徴)高分解能, 高次処理データ, 主題図
 - (主体)受益者を中心とするソサエティで整備
 - (留意点)最終果実に直結, 経済価値が計れるもの
- 検出ミスを許されないデータ(水際防止型)
 - (特徴)高分解能, 高頻度, 冗長さの高いデータ, 誤検出許容検出漏れ不可
 - (主体)主として官によるクローズド整備
 - (留意点)経済利益を越えたセキュリティユース
- 干渉SARは俯瞰型かつ直接最終ターゲットの追求型
 - (特徴)質の違う測地学データ、極めて高精度の変位検出
 - (主体)官民双方による継続的データ整備
 - (留意点)あまりに直接的な計測 → セキュリティに直結

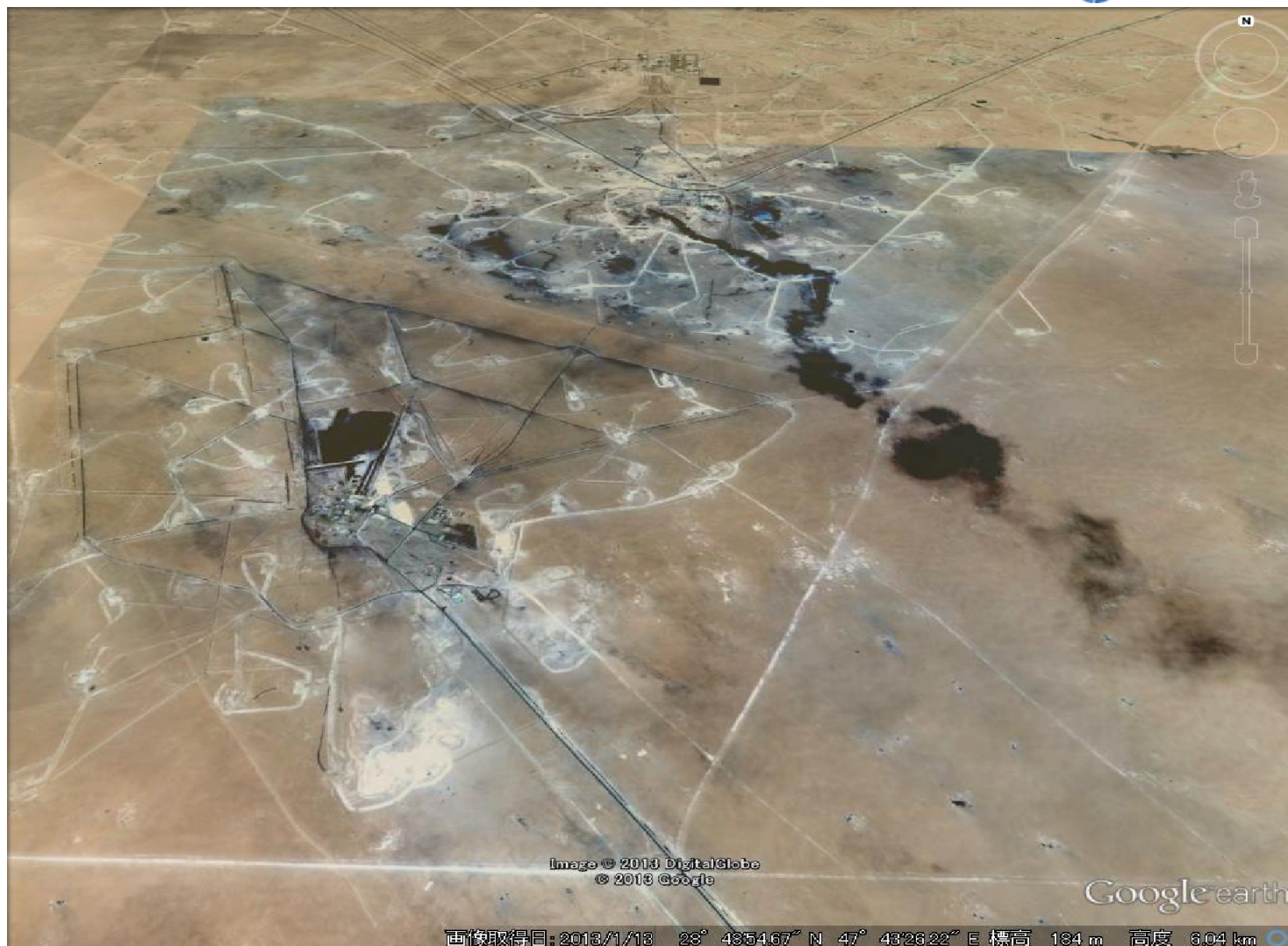
干渉SARの広範な応用分野(イタリア TRE社の事例)



- Oil and Gas, Energy
 - Oil and gas reservoir
 - Carbon capture and storage
 - Underground gas storage
 - Enhanced oil recovery
 - Wellhead and pipelines (Route planning)
 - Geothermal
 - Power plants, Dams and reservoirs
- Natural Hazards
 - Landslides
 - Subsidence and uplift
 - Regional mapping
 - Earthquakes and Tectonics
 - Emergency preparedness
 - Volcanoes, Sinkholes
- Transportation
 - Roads and railways
 - Tunnels, Bridges
 - Airports
- Mining
 - Open pit mines
 - Tailing and waste piles
 - Underground mines
 - Earthquakes and Tectonics
 - Emergency preparedness
 - Volcanoes, Sinkholes
- Urban
 - Groundwater extraction policy
 - Flood defenses
 - Single buildings
 - Urban development
 - Legal

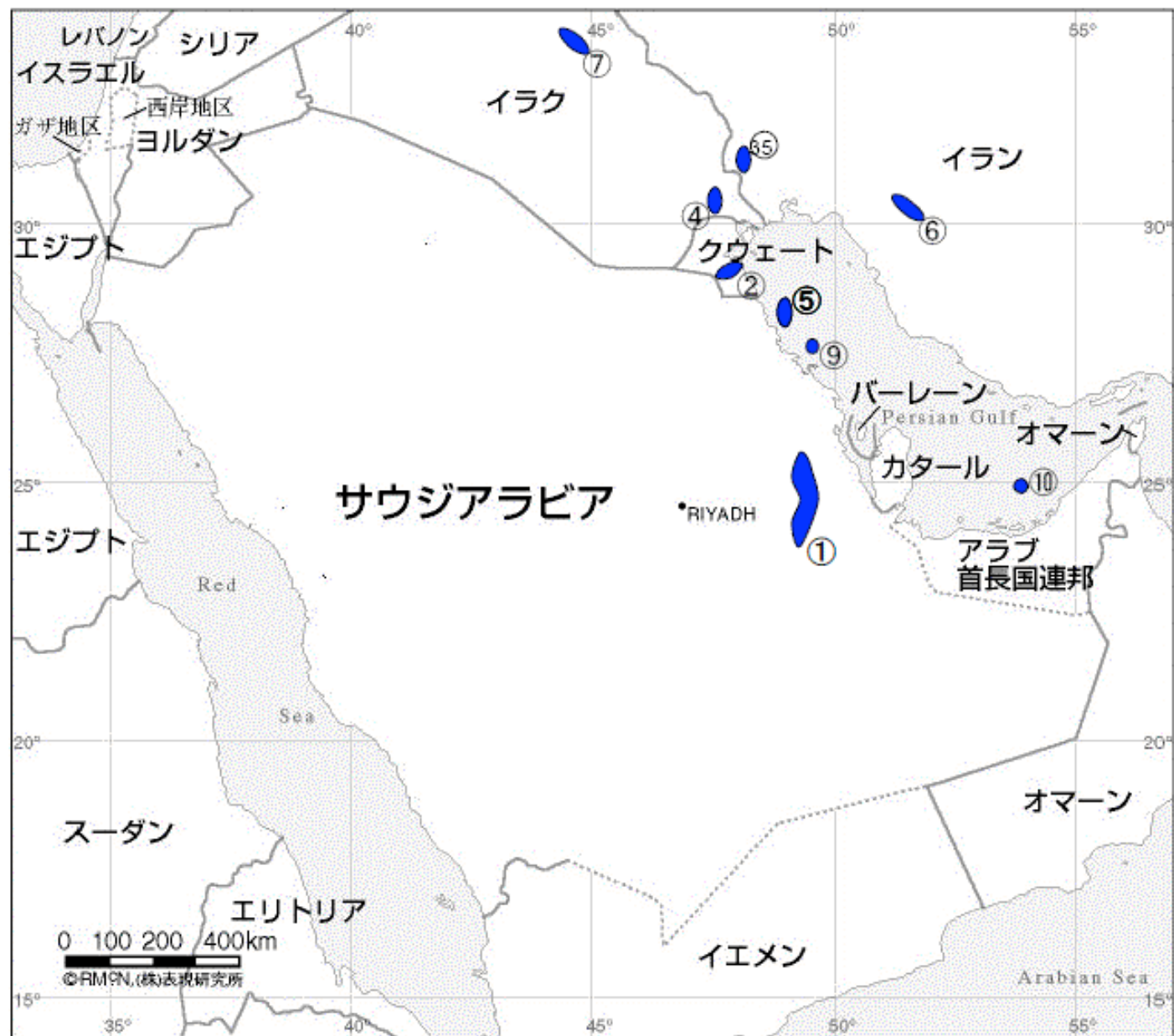
(TRE社のHPをもとに作成)

資源分野でのモニタリング事例



(Google Earthより)

付1 世界の主要油田(埋蔵量上位10位他)



①Ghawar油田(サウジアラビア)
可採埋蔵量:660.58億バレル

②Greater Burgan油田
(クウェート)
可採埋蔵量:590.00億バレル

④Rumaila油田(イラク)
可採埋蔵量:240.00億バレル
(但し、ノース・ルマイラ、サウス・ルマイラの合計値)

⑤Safaniya油田(サウジアラビア)
可採埋蔵量:211.45億バレル

⑥Gachsaran油田(イラン)
可採埋蔵量:190.00億バレル

⑦East Baghdad油田(イラク)
可採埋蔵量:180.00億バレル

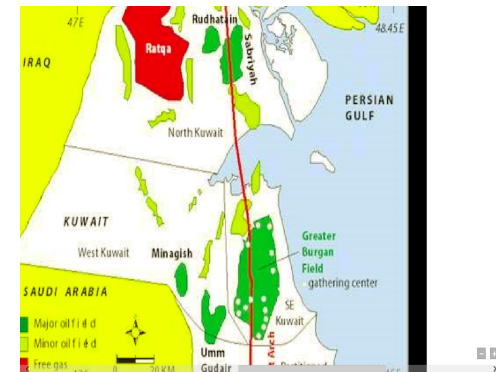
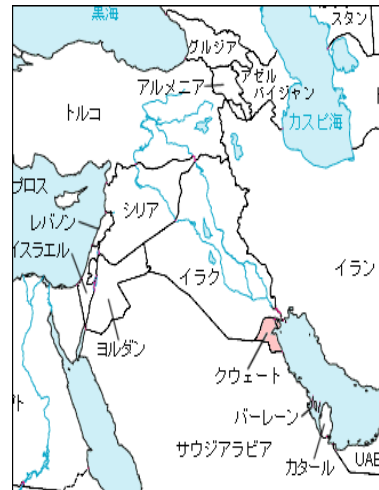
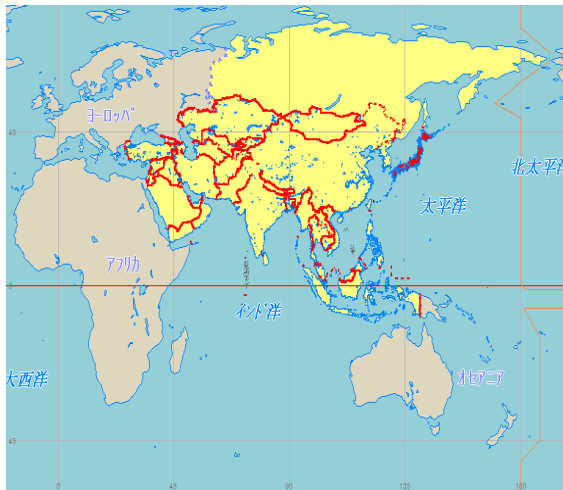
⑨Manifa油田(サウジアラビア)
可採埋蔵量:168.20億バレル

⑩Zakum油田(アブダビ)
可採埋蔵量:167.02億バレル

⑧Azadegan油田(イラン)
可採埋蔵量:50.00億バレル

(①～⑩は埋蔵量順位。その他、記事等によく掲載される油田も掲載(油田名の前の数字は埋蔵量順位)。埋蔵量については出所:石油公団・石油鉱業連盟共編「石油開発資料2002」。)

クウェートの位置(ブルガン油田)



<http://www.ncm-center.co.jp/tizu/kuweito.htm>

<http://www2m.biglobe.ne.jp/%257eZenTech/asia/Kuwait/index.htm>

ブルガン油田について



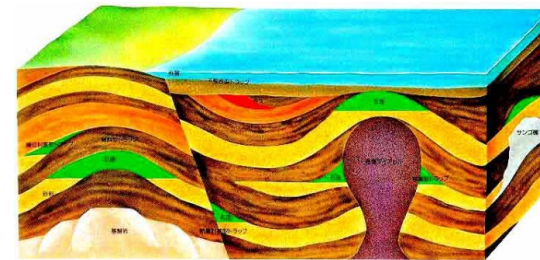
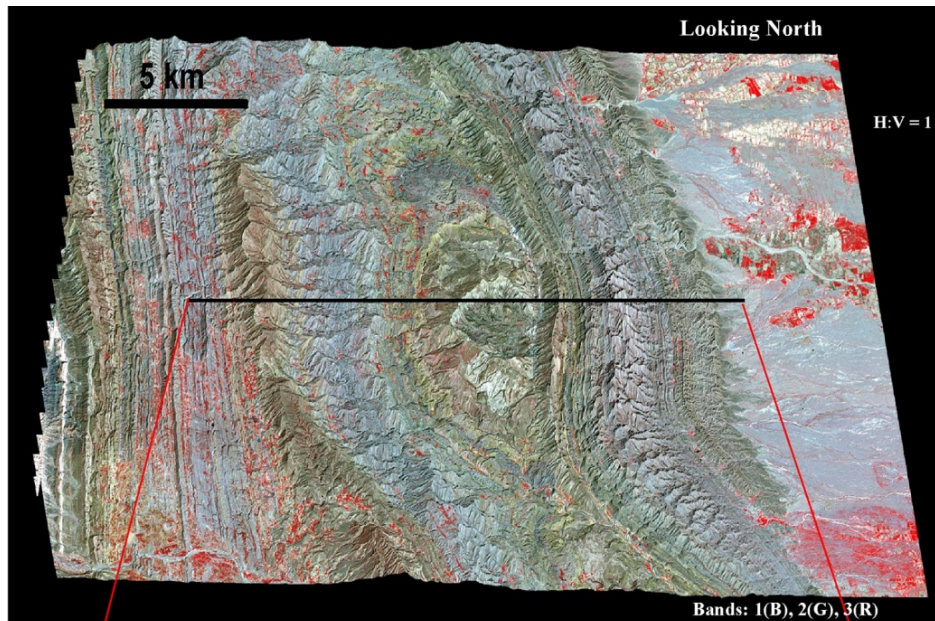
THE UNIVERSITY OF TOKYO



- ・クウェートに位置する
- ・商業生産の開始は1946年。
- ・発見当時その途方も無い巨大さから世界の原油市況に影響を与えるのを恐れて大きさに関する情報が一時伏せられたといわれる。
- ・生産量は上限180万バレル/日程度
- ・埋蔵量600～750億バレル
- ・世界第2位の規模の油田
- ・現在でも原油が地表に自噴する(ガワール油田に近い)

[http://ja.wikipedia.org/wiki/
%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%
E3%83%AB:Kuwait_city_1996.jpg](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Kuwait_city_1996.jpg)

石油・天然ガスの探査について



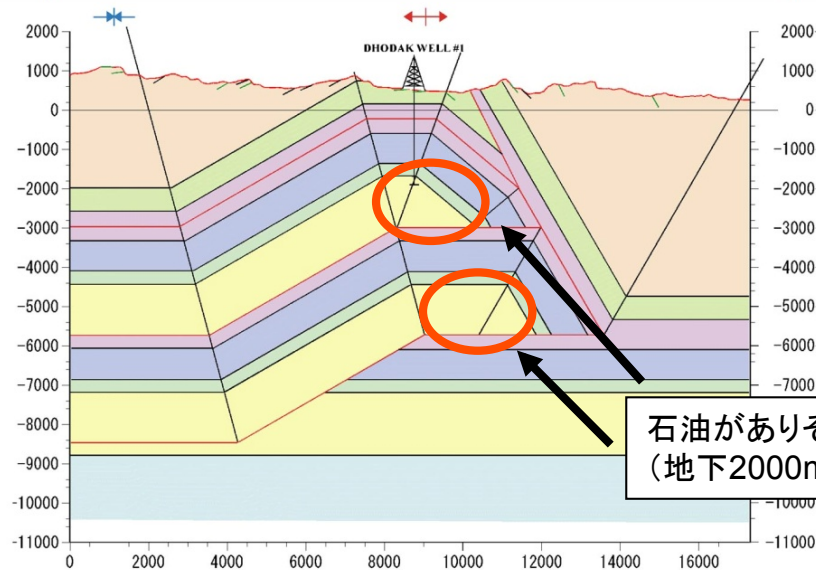
石油がたまる場所 (模式図)

光学衛星画像から探査

- ・石油の元になる岩石
- ・石油をためる場所

InSAR画像から探査

- ・油層の圧力変化検知



石油がありそうなところ
(地下2000m~5000m)



石油の発見・開発

- ・概査 (リモートセンシング, 重磁力探査)
- ・精査 (地震探査, 電気電磁探査)
- ・試掘
- ・経済性評価 (油層評価)
- ・生産
- ・回収率増加 (InSAR)
 - ー水圧入
 - ーCO₂, ポリマー圧入
- ・生産終了 (廃棄)

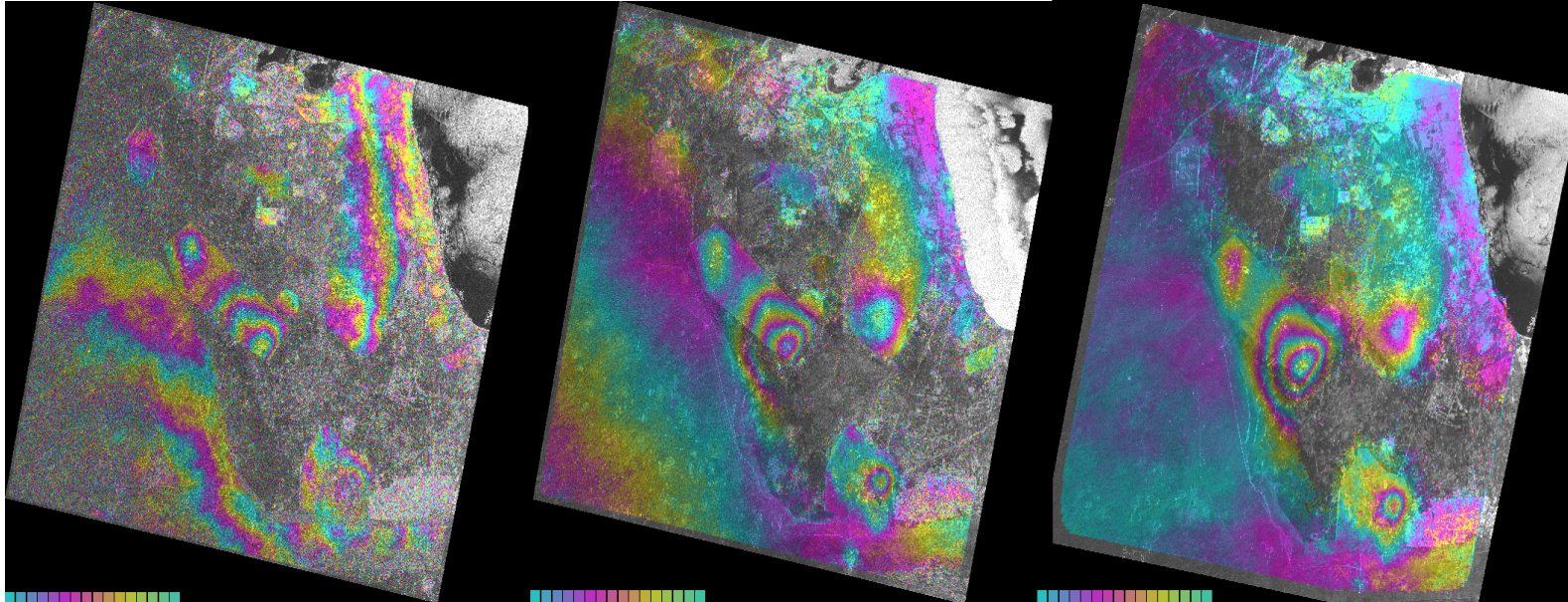
パキスタンで見つかった石油の有望地

Look数と干渉性

(1,5)

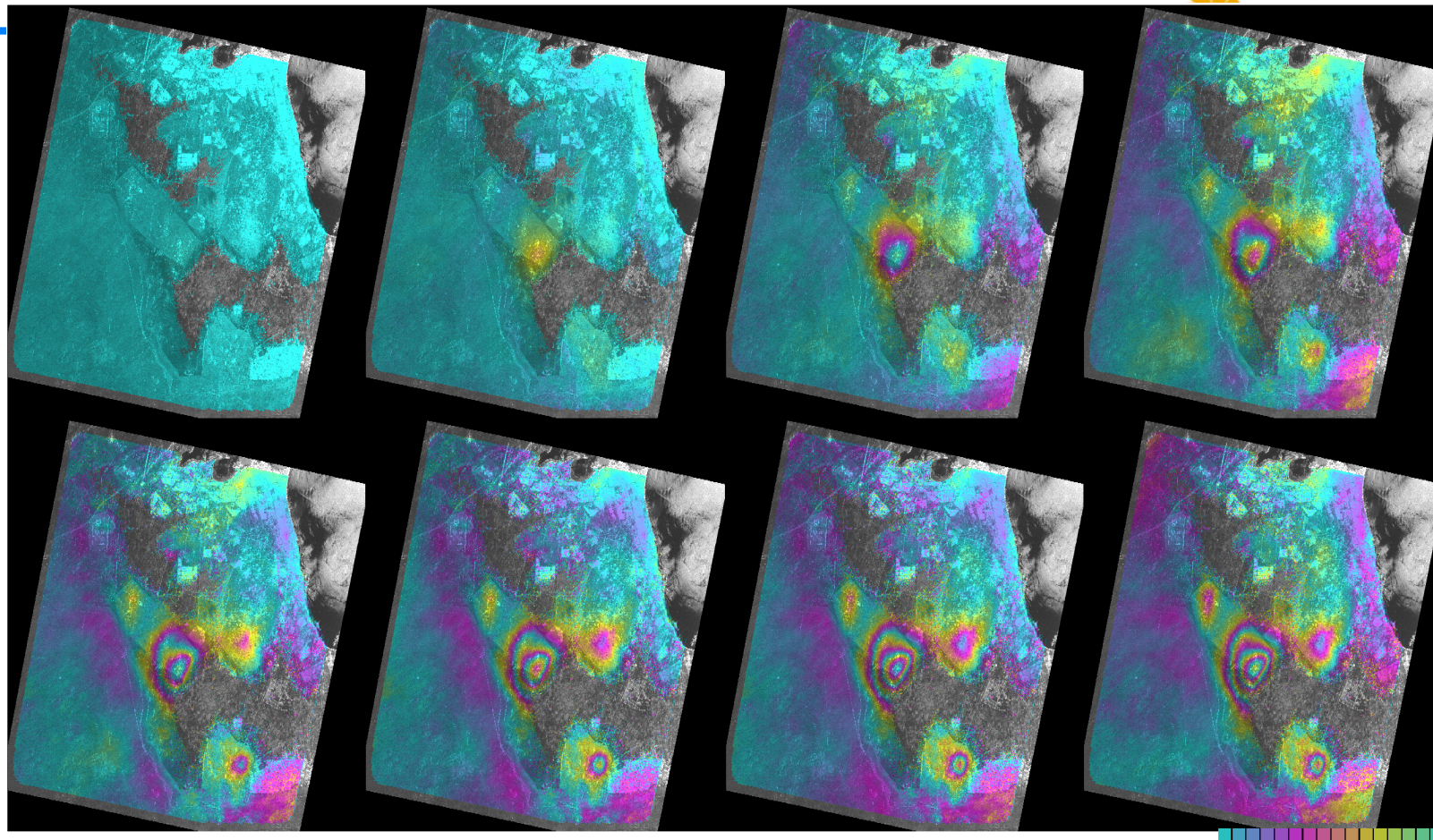
(2,10)

(4,20)



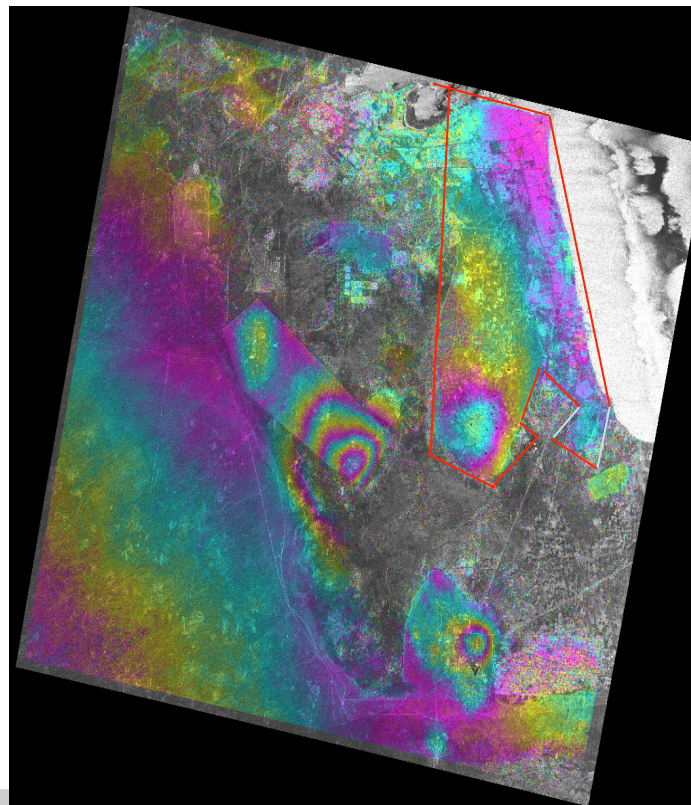
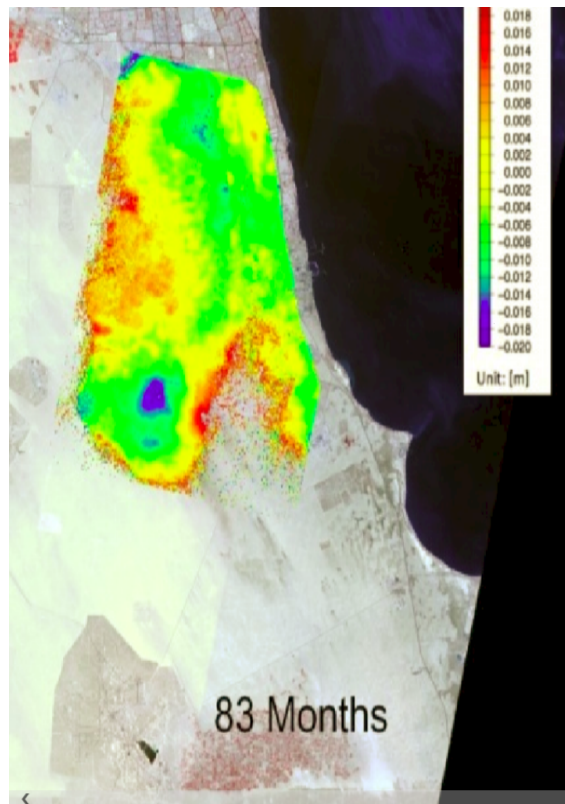
Look数(Range, Azimuth)
(ENVISAT, Cバンド)





2003.9 ~ 2010.9

先行事例との対応関係



先行事例による観測範囲は右上の部分のみ。最も地盤が変動している左部分の観測結果は示されていない。

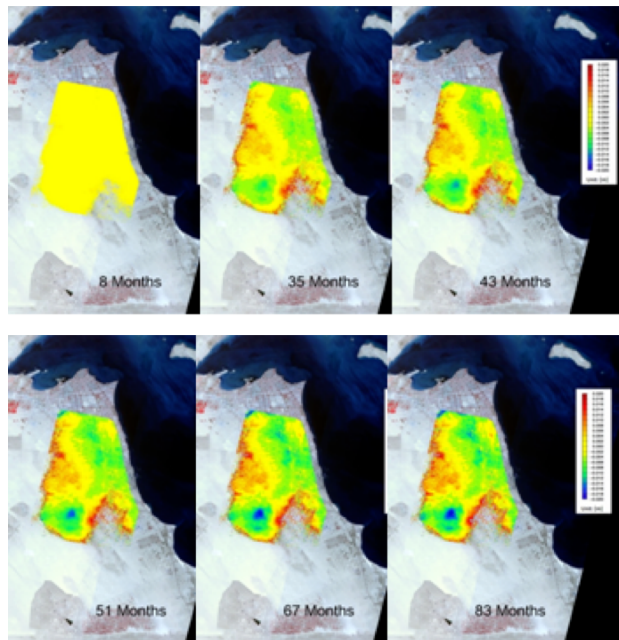


Fig1. Stacking SAR displacement maps of the Burgan oil field.

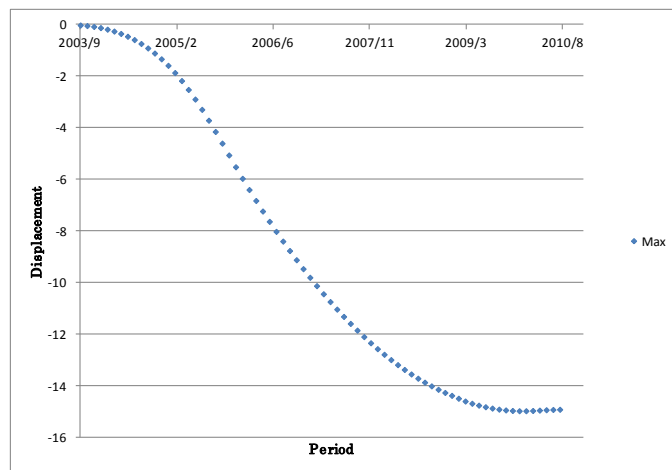


Fig.2 The time series graph on the maximum displacement point in the Burgan oil field

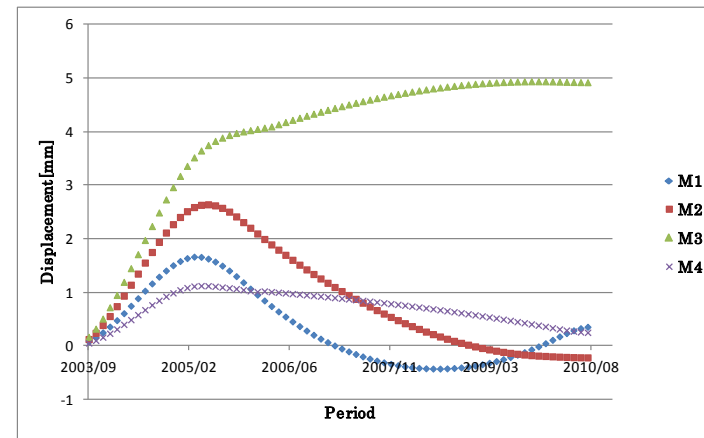


Fig.3 The time series graph of the displacement in the peripheral region of the oil field

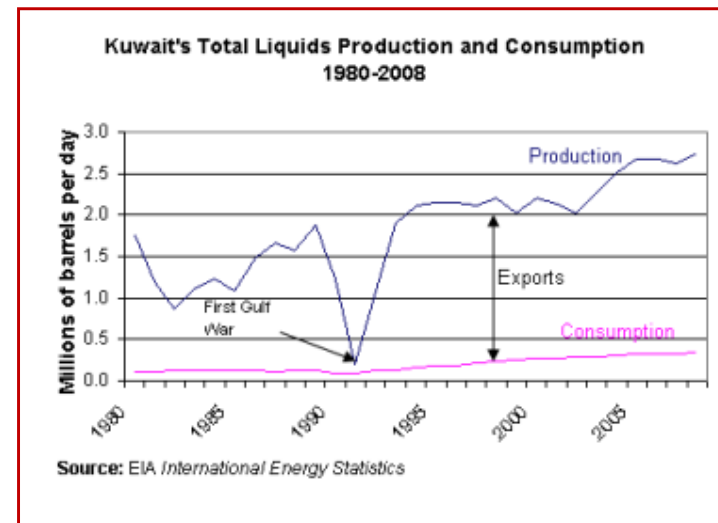
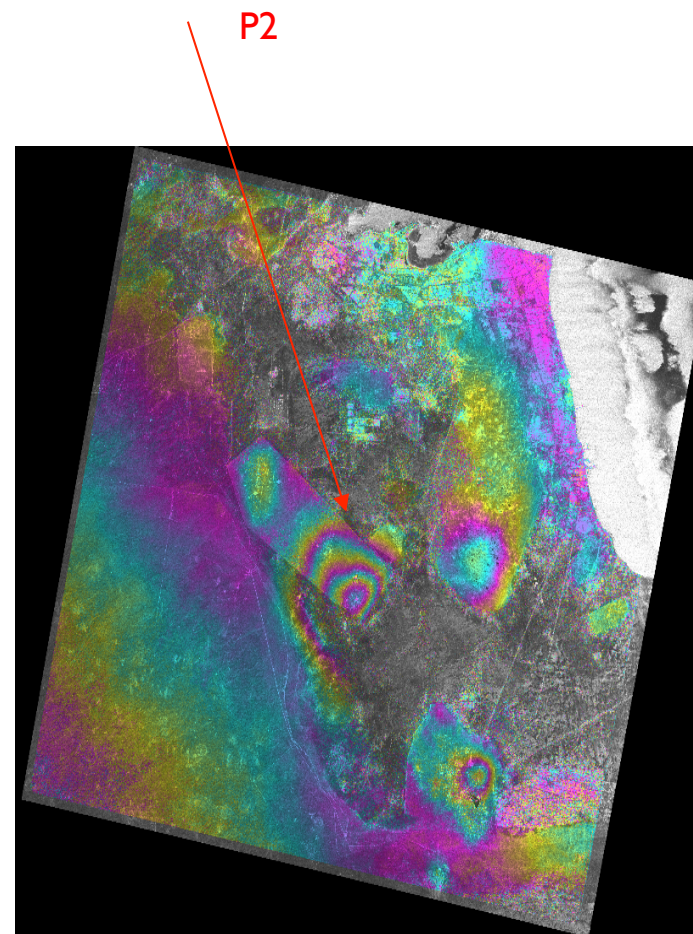
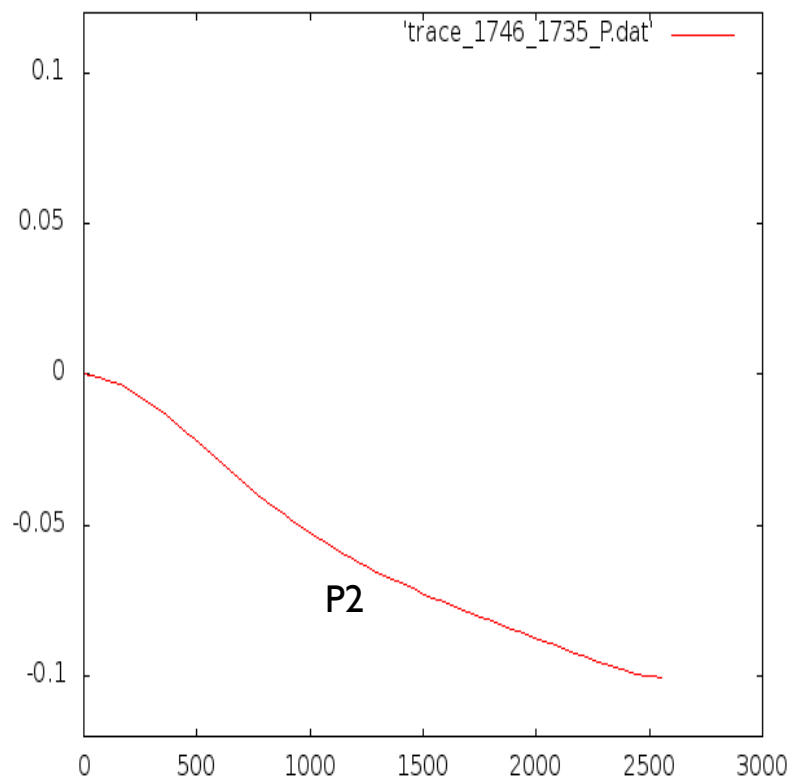


Fig.4 Kuwait's total liquids production and consumption (1980-2008)

最大沈下地点の変動量とその価値



THE UNIVERSITY OF TOKYO



沈下量 → 流体生産量(石油・天然ガス+地層水+水圧入) → 石油・天然ガス量

→→→ 生産減退履歴 →→→ 油田枯渇に関する情報

石油開発へのInSAR応用が生み出す巨万の富



1. 石油開発プロセスの理解(回収率増加法)

自噴生産 → 水圧入による地層圧維持(1次回収)
→ CO₂、ポリマー圧入などの2次回収 → 終了

2. 現在の石油回収率は約30%(70%は回収できていない)

3. 干渉SARによる地表の微細変化に基づく生産井と圧入井の高精度コントロール → 回収率向上が可能

→ InSARによる回収率1-3%向上

4. 経済効果試算1 (1バーレル: 100ドル、1ドル=100円)

- ・世界最大のサウジアラビアガワール油田: 究極可採埋蔵量 約1000億バーレル
 - ・InSAR: 1%回収率向上 → 10億バーレル増 → 1000億ドル(10兆円)資産増加
 - ・日産400万バーレル/日 → 7300億円/5年増 → 5年毎にSAR50機以上打上可
- cf. 大ブルガン油田の可採埋蔵量 600-700億バーレル(累計生産量不明)

5. 経済効果試算2

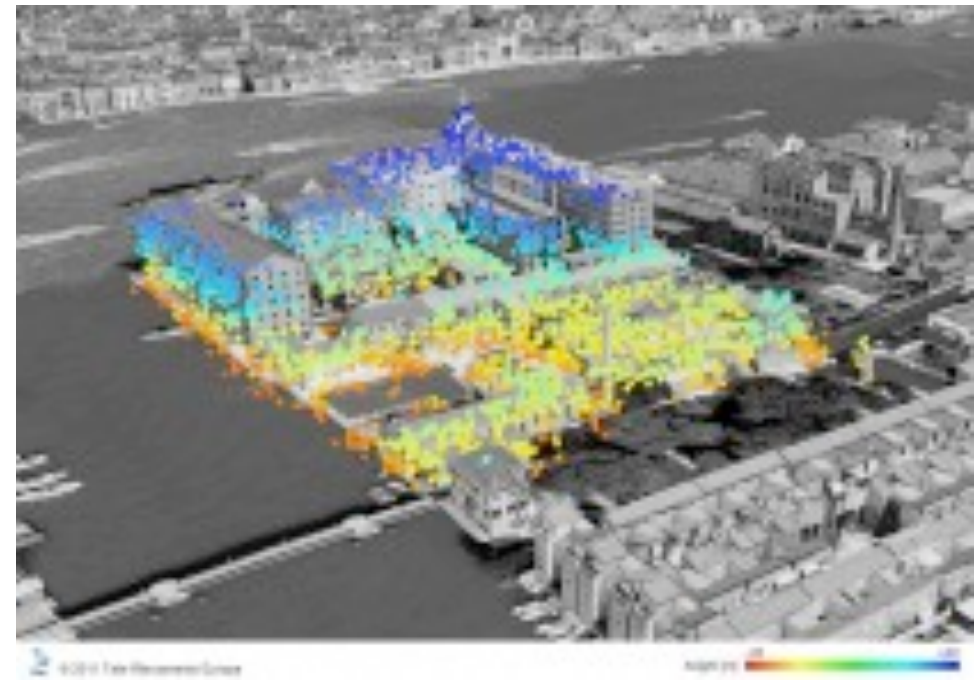
- ・現在世界の石油生産量300億バーレル/年
- ・InSAR: 1%回収率向上 → 3億バーレル増 → 300億ドル(3兆円)/年

- エネルギー・資源地政学への貢献
 - 既存油田のマクロポテンシャル評価
(InSAR解析の技術開発とその展開)
- 資源外交の戦略ツール開発1
 - 新規油田・レアメタル等の探査確立向上技術の開発
 - マルチスペクトル・ハイパースペクトル画像とInSARの併用
- 資源外交の戦略ツール開発2
 - 既存油田・金属資源の回収率向上技術の開発
 - 原子力地層処分健全性モニタリング
 - InSARの回収率増加法マネジメントへの活用
- 環境調和型エネルギーの開発支援システムの整備
 - ロジスティクス, モニタリング
 - 建設物の安定性評価

構造物モニタリングの事例

- ・ビルの安定性に関するモニタリング事例
 - ミラノ市の大聖堂(Duomo)
 - TerraSAR-X
 - 2008年2月から2010年9月の変位

- ・沿岸ビルの安定性モニタリングの事例
 - ベニス、Giubecca 宮殿
 - TerraSAR-X
 - 2008年5月から2009年11月の変位



(TRE社 HPより)

1. 基本認識: 干渉SARは画期的技術
 - これまでの概査技術から精査技術に発展
 - Lバンド(波長23cm), Cバンド(波長5.4cm)およびXバンド(約3cm)の複合利用が鍵
 - わが国のL, Xバンドと欧州のC, Xバンド
2. SARデータのリリース国にはこだわらない
3. 構造物周辺の地盤変動等をLバンド(波長23.6cm)で広域把握
4. 人工構造物、建築物等は波長の短いC, Xバンドを活用
5. 地盤および流体挙動等との連成解析とモデル化
6. 実利用化への課題
 - 利用者(お金を出す方)に意義やメリットを理解してもらう工夫
 - 標準化(技術レベルの担保、検証メカニズムの明確化)
 - プロジェクトとしてのプロトコル化(予算が積める工程化)
7. 既存分野との差別化(パイを取り合うのではなく、新たな価値創造)



1. Fundamental base area map (AOI : Area of Interest Selection)
 - Medium resolution optical remote sensing data (ALOS, ASTER, Landsat and SPOT)
 - Geocoded radar remote sensing data (Ex. PALSAR, Envisat, etc) with **Global DEM**
 - Geological map, Precipitation history etc.
2. Enhance Current Geo-Hazard Map by InSAR displacement analysis
 - Refine existing geo-hazard map by DEM(SRTM or GDEM by ASTER) or MTSAT data
 - **Update geo-hazard map by InSAR time-series displacement analysis** using archived C or L band InSAR data
 - Prioritize risk area with values
3. Continuous geo-hazard monitoring and mapping (from 2014)
 - Precipitation monitoring by enhanced **MTSAT**(frequency and multispectral)
 - **InSAR** semi-realtime displacement analysis → Active hazardous area mapping
 - Integrated analysis of hazard area by combining MTSAT precipitation and InSAR data
 - Enhanced DEM application (detail in later) → Updated DEM available
4. Hazard index generation and evaluation by geo-mechanical modeling
 - Warning criteria
 - Trace of actual landslide area and feedback for updated monitoring scheme.

- ご清聴ありがとうございます。