

# 1-3

## 地震波による震源過程と SAR 干渉画像の比較

### Comparison between Source Process from Seismic Waves and ALOS/PALSAR Interferogram

岩切一宏(気象庁)・安藤忍(文科省)

Kazuhiro Iwakiri (JMA) and Shinobu Ando (MEXT)

我々の SAR 干渉解析の目的は、地震波による震源過程解析と SAR 干渉解析のそれぞれの長所・短所や誤差要因を考慮して、両者を相補的に利用することで、地震像の推定を高度化することである。地震像の把握は災害時の対応、余震やその後の大規模地震の発生を考える上で重要である。本講演では、主に SAR 干渉解析の長所に焦点をあて、地震波解析だけでは得られなかった断層破壊の様子を、大規模地震の解析事例から報告する。また、気象庁における地震関連の SAR 干渉解析における問題点などについて紹介する。

地震波を用いた震源過程解析によるすべり分布(または、それから計算した理論地殻変動)と、SAR 干渉画像を比較した。例えば、

- 2010 年チリ中部沿岸の地震では、明瞭な干渉縞が現れる領域の南端において、遠地実体波解析からは破壊がほとんど推定されない。また、2010 年中国青海省の地震では、断層走向に沿って2つの目玉状の干渉縞がみられるが、遠地実体波解析ではすべり履歴に2つのピークが認められるものの大きなすべり域は複数に分離していない。これらの原因は遠地実体波解析では空間分解能が比較的低いためと考えられる。
- 2011 年福島県浜通りの地震(図1)では、地震波解析からだけでは複数の断層面をどこに配置するか判断が難しいが、SAR 干渉画像では地表における断層位置が位相不連続線として明瞭に判別できた。

このように、地震波解析と SAR 干渉解析を相補的に用いることが大規模地震像の把握にとっても有効である。

気象庁における地震関連の SAR 干渉解析の主な問題点や今後の展望を以下に挙げる。解析ソフトは SIGMA-SAR (Shimada,1999)を用いておりバージョンアップなども開発者に依存している。また、アンラッピング処理については、主に Ghiglia and Pritt (1998)を利用しており、処理の際に生じるエラーについては、奥山(2010)の方法で修正を行っている。現在、気象予報モデル(MSM)を用いた気象補正のプロトタイプを作成しており(新堀, 2011)、今後はその評価のための事

例解析を進めていく。さらに、大規模地震に伴う広範囲に及ぶ地殻変動の全容を短時間で把握するため、ScanSAR の干渉解析手法の習得が必要と考えている。また、SAR 干渉解析手法を習得している職員が少ないため、解説資料など即時的な対応を行うためには、解析者の育成やノウハウの継承が課題となっている。

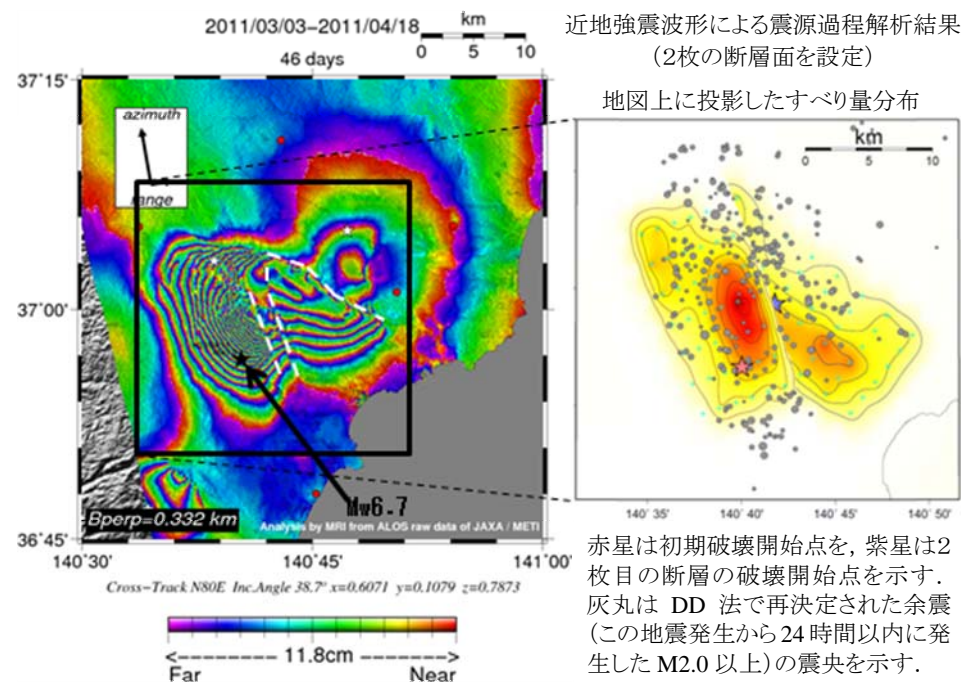


図1. (左)2011年福島県浜通りの地震(Mw6.7)を含む SAR 干渉画像。位相が不連続になっている場所を白破線で示す。(右)2011年福島県浜通りの地震(Mw6.7)の近地強震波形を用いた震源過程解析によるすべり量分布。左図の位相不連続線をもとに2枚の断層面を設定して解析した。

【謝辞】本解析で用いた PALSAR データの一部は、国土地理院が中心となって進めている防災利用実証実験(地震ワーキンググループ)に基づいて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)にて観測・提供されたものである。また、一部は PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所との共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR に関する原初データの所有権は経済産業省および JAXA にある。なお解析には、JAXA の島田政信氏により開発された SIGMA-SAR を使用させていただいた。

# 地震波による震源過程と SAR干渉画像の比較

岩切一宏(気象庁)・安藤 忍(文科省)

# はじめに

## 地震波による 震源過程解析

### 短所

- ・地上観測機器が必要
- ・断層モデルの位置が震源に依存

### 長所

- ・データが比較的早期に得られる
- ・断層破壊の進行の様子が得られる

## SAR干渉解析

### 長所

- ・地上観測機器が不要
- ・地殻変動の位置が高精度で得られる ㊦

### 短所

- ・データ取得に比較的時間を要する
- ・断層破壊進行の把握には不向き

本講演では、

- ・SAR干渉解析の長所に注目。解析事例を報告。
- ・気象庁における地震関連のSAR干渉解析における問題点、今後の取り組みを紹介。

# はじめに

## 気象庁におけるSAR干渉解析の目的

(ここでは地震関連の地殻変動について)

### ◆ 地震像の推定を高度化

「地震波による震源過程解析」 ← 「SAR干渉解析(ALOS/PALSAR)」

それぞれの長所・短所、誤差要因を考慮して、相補的に利用する

### ◆ 東海地域の定常的な地殻変動を面的に把握したい

本日  
報告

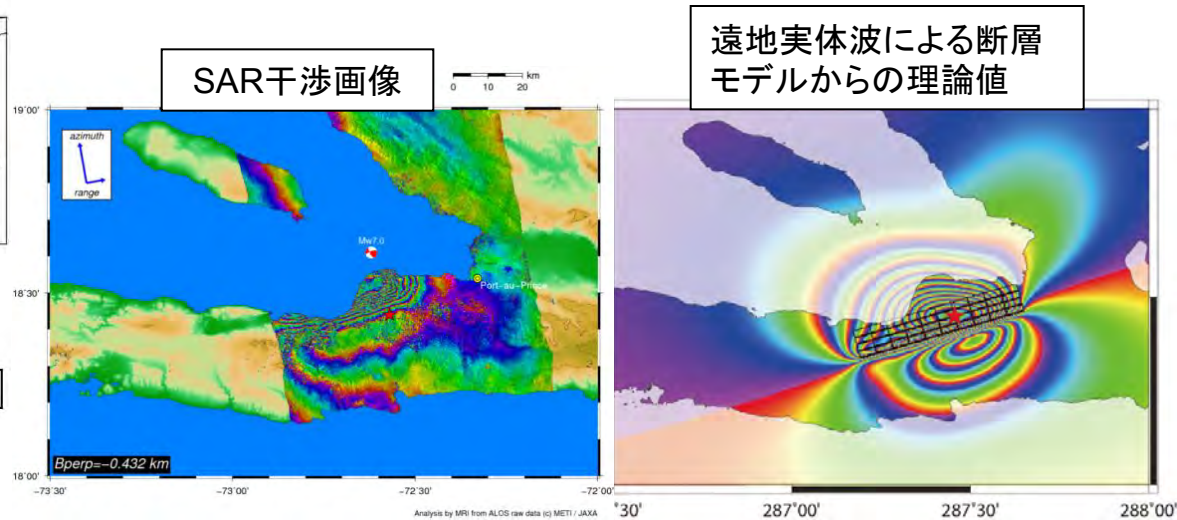
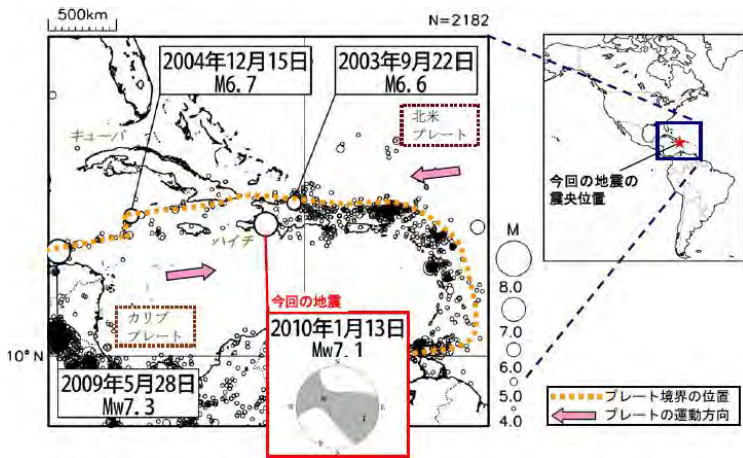
# 解析事例

これまで、国内、国外で発生したM6～7以上の地震のSAR干渉解析を行った

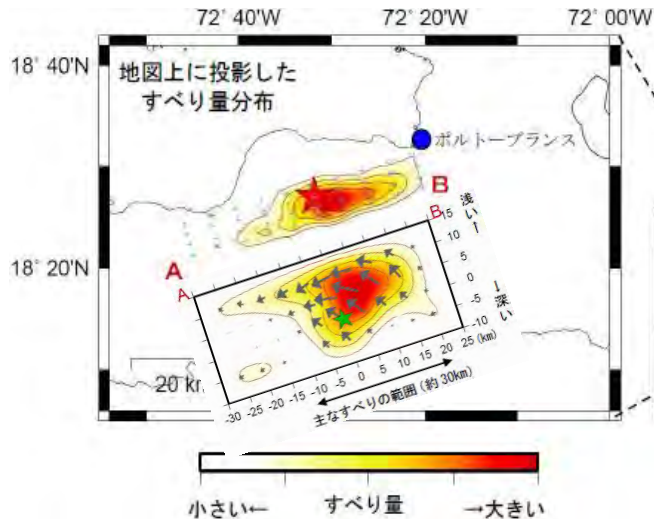
2008年	2008/5/12 中国四川省の地震(Mw8.0) 2008/6/14 岩手・宮城内陸地震(Mw7.2) 2008/10/5 タジキスタン-シンチアンウイグル自治区(中国)境の地震(Mw6.6) 2008/10/29 パキスタンの地震(Mw6.4、Mw6.4)
2009年	2009/1/4 インドネシア、ニューギニア付近の地震(Mw7.6、Mw7.4) 2009/4/6 イタリア、ラクイアの地震(Mw6.3) 2009/8/11 インドネシア、アンダマンの地震 2009/8/11 駿河湾の地震 2009/9/30 インドネシア、パダンの地震 2009/11/9 インドネシア、スンバワ島の地震
2010年	2010/1/13 <b>ハイチの地震(M7.1)</b> 2010/2/27 <b>チリ中部沿岸の地震(Mw8.8)</b> 2010/4/5 メキシコ、バハカリフォルニア州の地震 2010/4/7 インドネシア、スマトラ北部の地震(Mw7.7) 2010/4/13 <b>中国青海省の地震(Mw6.9)</b> 2010/9/14 ニュージーランド、南島の地震(Mw7.0) 2010/12/21 <b>イラン南部の地震(Mw6.5)</b>
2011年	2011/3/11 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0) 2011/3～4 茨城県北部の地震(Mw5.8)・ <b>福島県浜通りの地震(Mw6.7)</b> ・福島県中通りの地震(Mw5.9)

本日は、赤文字の地震の解析事例を紹介

# 2010年1月13日ハイチの地震(Mw7.1)



遠地実体波による断層モデル

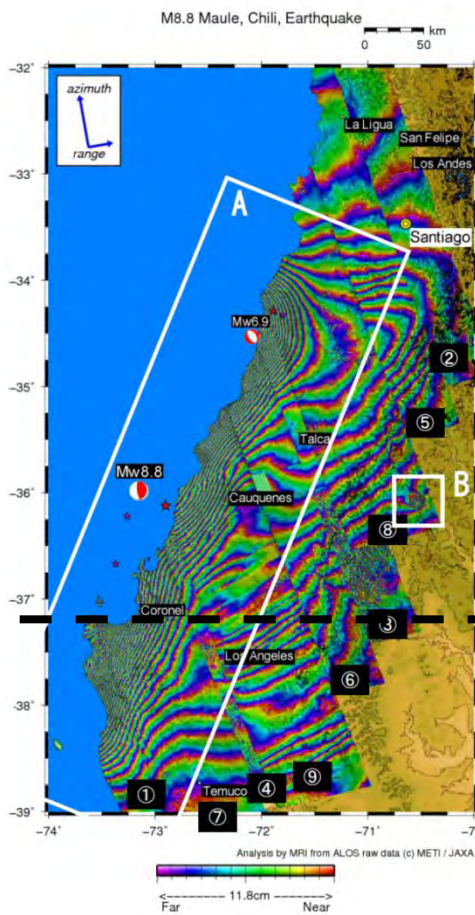


- 相対的な干渉パターンは概ね一致
- 絶対位置がずれている  
→ USGSの本震の位置が南東にずれている

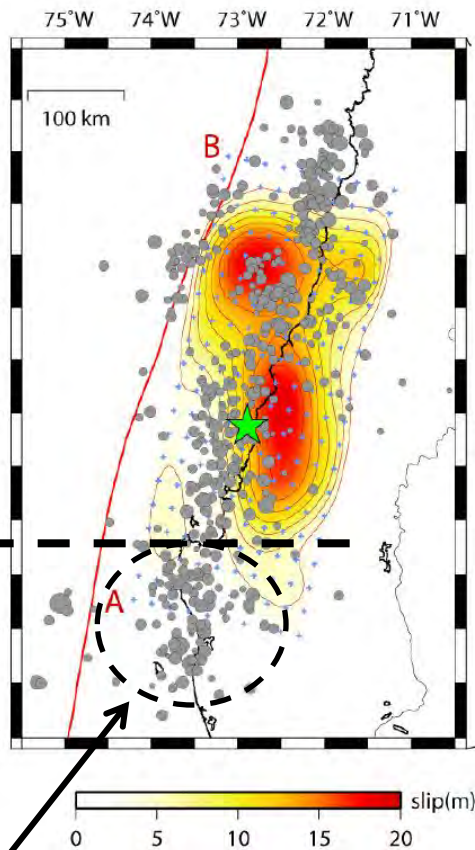


# 2010年2月27日チリ中部沿岸の地震(Mw8.8)

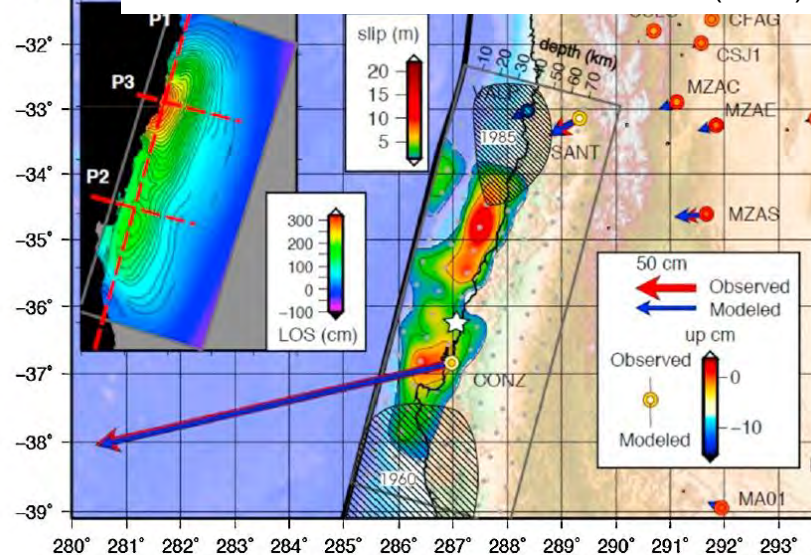
SAR干渉画像



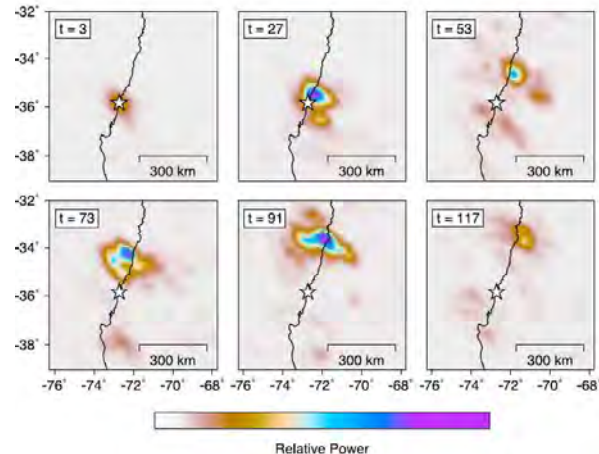
遠地実体波による断層モデル



GPS,SAR,遠地実体波のジョイントインバージョン  
Delouis et al. (2010)



バックプロジェクション (0.2Hz-2Hz) Lay et al. (2010)

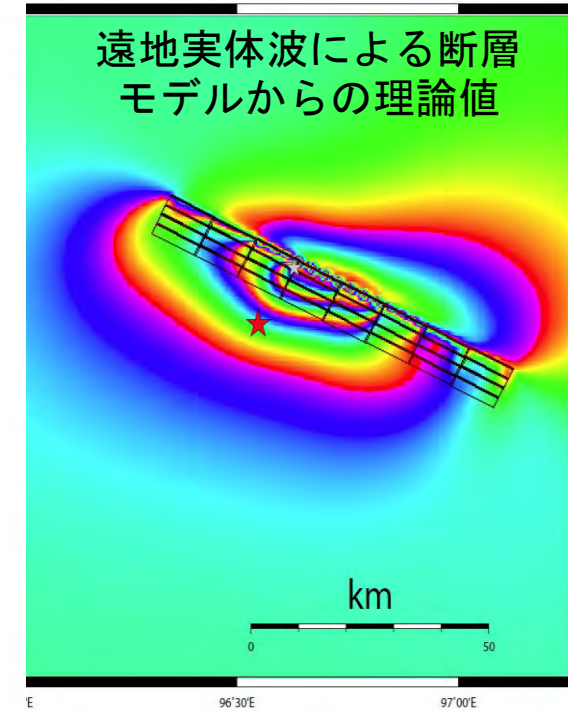
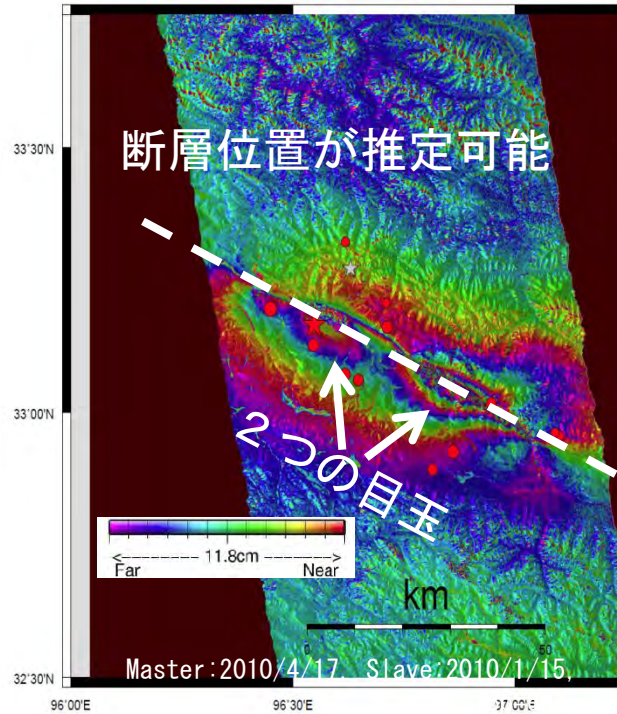
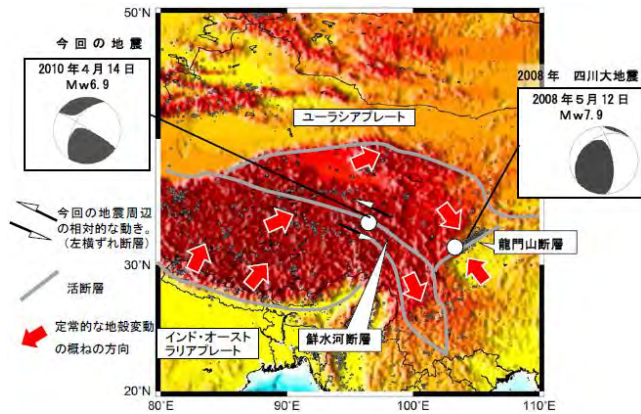


干渉縞と対応していない  
→遠地実体波による断層モデルの空間  
分解能が低いためか。  
または、地震波の励起が弱かった？

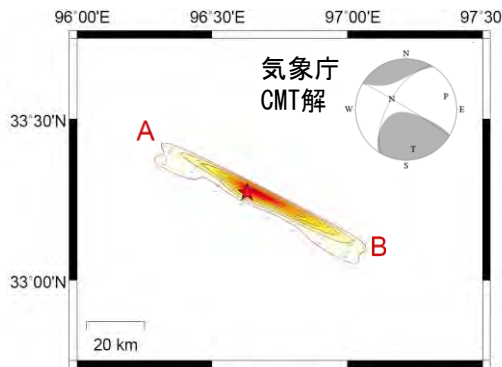
南端付近で高周波の  
地震波放出が弱い

# 2010年4月14日 中国青海省の地震(Mw6.9)

SAR干渉画像

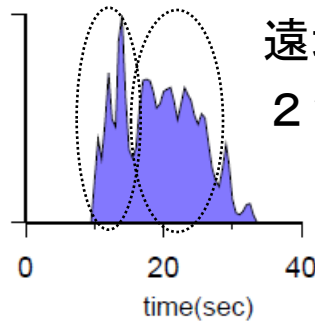
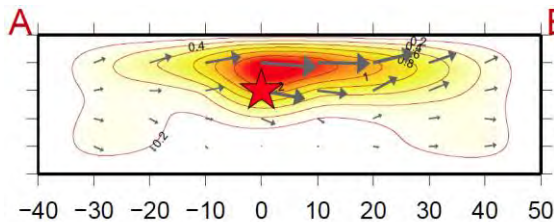


遠地実体波による断層モデル



理論値では2つの目玉はない

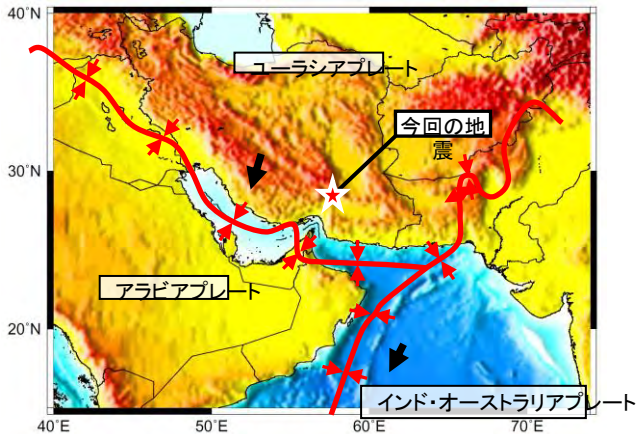
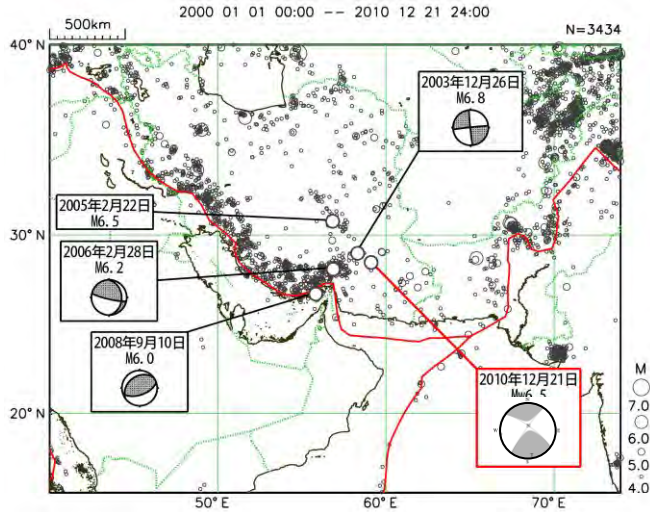
→遠地実体波解析の空間分解能の限界か



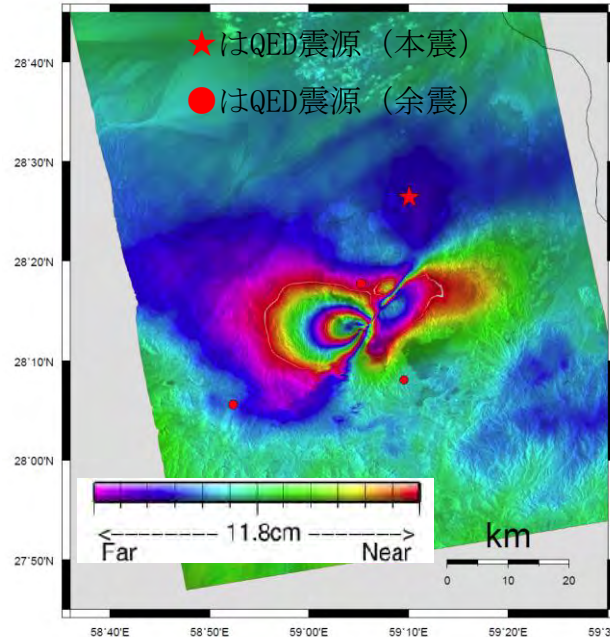
遠地実体波解析では、  
2つのモーメント解放のピーク



# 2010年12月21日 イラン南部の地震(Mw6.5)

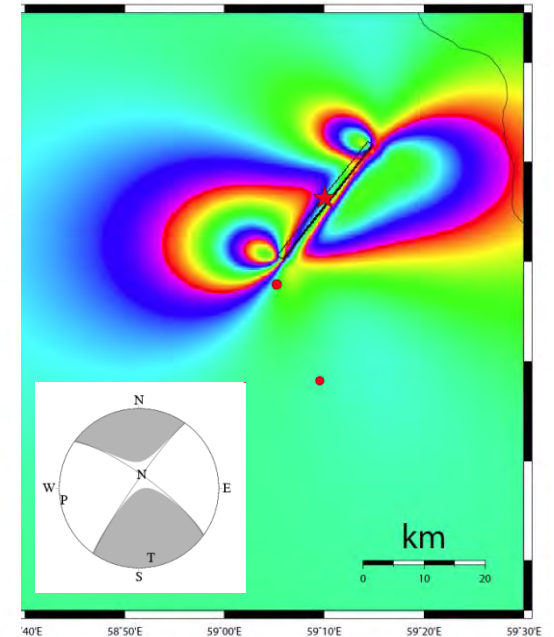


SAR干渉画像



Master:2010/12/31, Slave:2010/9/30, Bp=183m

CMT解の走向・傾斜・すべり角からの理論値



- ・ SAR干渉解析結果から、断層面が判明
- ・ USGSの震央位置は北に約20kmずれている

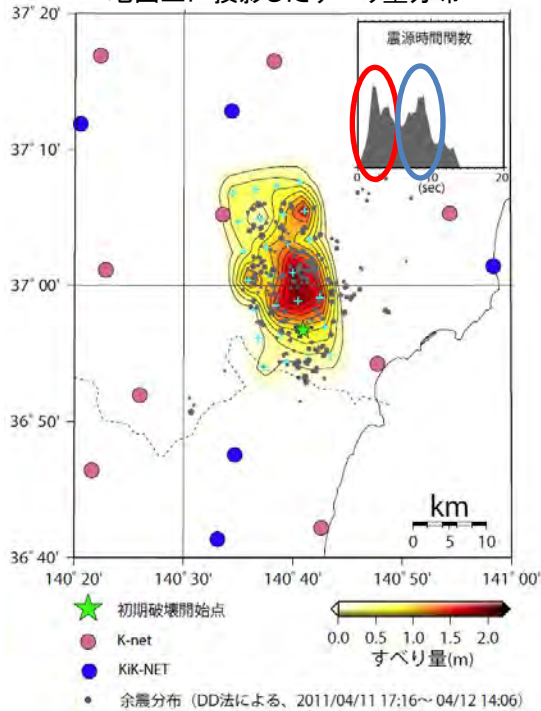
余震が少ないため、地震発生当初、周辺の地震活動と地形から、2つの節面のうち、北西-南東走向の節面が断層面だと思っていた・・・

# 2011年4月11日 福島県浜通りの地震(Mw6.7)

近地強震波形による震源過程解析結果

1つの断層面を設定

地図上に投影したすべり量分布

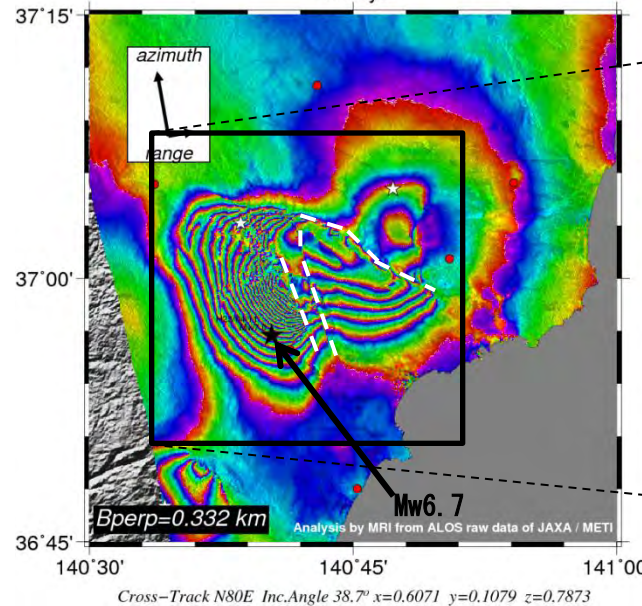


SAR干渉画像

2011/03/03-2011/04/18

km 0 5 10

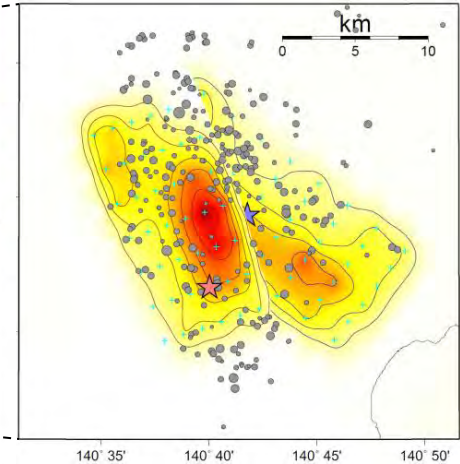
46 days



近地強震波形による震源過程解析結果

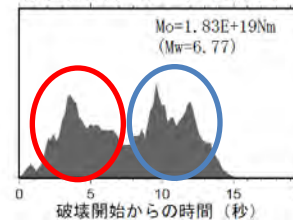
2つの断層面を設定

地図上に投影したすべり量分布



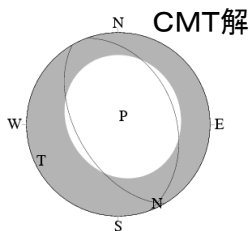
★は破壊開始点を、☆は2枚目の断層の破壊が始まった点を示す。●はDD法で再決定された余震(この地震発生から24時間以内に発生したM2.0以上のもの)の震央を示す。

震源時間関数 (すべりの時間分布)



- ★: 2011. 4. 11 (Mw6.7) の震央
- ☆: 2011. 3. 23 (Mw5.7) および 4. 12 (Mw5.9) の震央
- : GPS観測点
- 白点線: 位相不連続

- 3月23日07:12浜通り (Mw5.7, Mj6.0)
- 3月23日07:34浜通り (Mw5.4, Mj5.5)
- 4月11日17:16浜通り (Mw6.7, Mj7.0)
- 4月11日20:42浜通り (Mw5.4, Mj5.9)
- 4月12日14:07中通り (Mw5.9, Mj6.4)



ノンダブルカップル成分が大きい  
→複数の断層面か

近地強震波形による震源過程解析では、地震発生直後では1つの断層モデルを設定したが、その後得られたSAR干渉画像を参考に2つの断層面を設定して、再解析を行った。

# 気象庁における地震関連の SAR干渉解析の問題点・今後

- ★InSAR解析ツールは、SIGMA-SAR (Shimada, 1999)  
→バージョンアップなど開発者に依存
- ★アンラッピング処理 (Ghiglia and Pritt, 1998) の際に生じるアンラップエラー  
→奥山 (2010) の方法により修正
- ★大気遅延誤差の補正  
→気象予報モデル (MSM) を用いたプロトタイプを作成した (新堀、2011)  
その評価のため事例解析を行いたい
- ★大規模地震に伴う広範囲に及ぶ地殻変動の全容を短時間で把握したい  
→ScanSARの干渉解析
- ★プレート境界の長期的な面的な地殻変動の把握  
→スタッキング、PS-InSAR、StaMPS、有効な解析手法を取り入れていきたい
- ★InSARのデータ量が多いため、断層モデルのインバージョン解析に用いる自前ツールの取り扱い (リサンプリングなど) に試行錯誤している段階  
→ツールの機能を強化する
- ★ALOSの軌道間距離が安定していないため、解析ペアの選択が非常に難しい  
→ALOS-2に期待
- ★InSAR解析手法の習得  
→地震解説資料など即時対応のため、解析者の育成やノウハウ継承が課題

# まとめ

- 世界で発生したM6～7以上の地震について、地震波より求めた断層モデルとSAR干渉解析結果を比較した。

(複数の断層面が活動する場合など断層運動が複雑な場合、)

- ・地震波による震源過程解析

に加えて、または、相補的に、

- ・SAR干渉解析の利点(地殻変動の位置が高精度で得られる)  
を用いて地震像を把握することが重要。

- 気象庁における地震関連のSAR干渉解析における問題点、今後の取り組みを紹介した。

**【謝辞】** 本解析で用いたPALSAR データの一部は、国土地理院が中心となって進めている防災利用実証実験(地震ワーキンググループ)に基づいて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)にて観測・提供されたものである。また、一部はPIXEL で共有しているものであり、JAXAと東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXA から提供されたものである。PALSARに関する原初データの所有権は経済産業省およびJAXA にある。なお解析には、JAXAの島田政信氏により開発されたSIGMA-SARを使用させていただいた。