

代表研究者 氏名 (所属機関) : 矢来博司 (国土地理院)

支援研究者 氏名 (所属機関) : 飛田幹男・小林知勝・森下遊・三浦優司・山中雅之・山田晋也・攪上泰亮 (国土地理院)

課題名称 : 地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握

今年度の成果概要 :

今年度は、ネパールの地震 (2015 年 4 月 25 日、Mw7.8)、中国・新疆の地震 (2015 年 7 月 3 日、Mw6.4)、チリの地震 (2015 年 9 月 16 日、Mw8.3)、タジキスタンの地震 (2015 年 12 月 7 日、Mw7.2)、台湾南部の地震 (2016 年 2 月 6 日、Mw6.4) を対象として研究を実施した。また、昨年度の地震であるが、2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震 (M6.7、最大震度 6 弱) の余効変動についても研究を行った。なお、ボルネオ島の地震 (2015 年 6 月 5 日、Mw6.0)、ニューギニア島西部の地震 (2015 年 7 月 27 日、Mw7.0) についても解析を行ったが、顕著な変動は得られなかった。

(1) ネパールの地震 (2015 年 4 月 25 日、Mw7.8)

4 月 25 日に発生した本震および 5 月 12 日に発生した最大余震 (Mw7.3) を対象とし、ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて SAR 干渉解析を行った。また、得られた地殻変動から、震源断層モデルの構築を行った。

SAR干渉解析の結果を図1に示す。本震に伴い、カトマンズ北方を中心として東西160km 程度の範囲で10cm以上の地殻変動が捉えられた (図1a)。変動域の南部では衛星に近づく変位、北部では衛星から遠ざかる変位となっている。カトマンズの北方から約30km東方にかけての領域が最も地殻変動が大きく、最大で1.2m 以上の変位となっている。このように大きな地殻変動が見られたものの、地表地震断層の出現は明瞭には認められなかった。最大余震では震央付近で70cmの変位が捉えられ、本震と同様に変動域の南部では衛星に近づく変位、北部では衛星から遠ざかる変位となっている (図1b)。

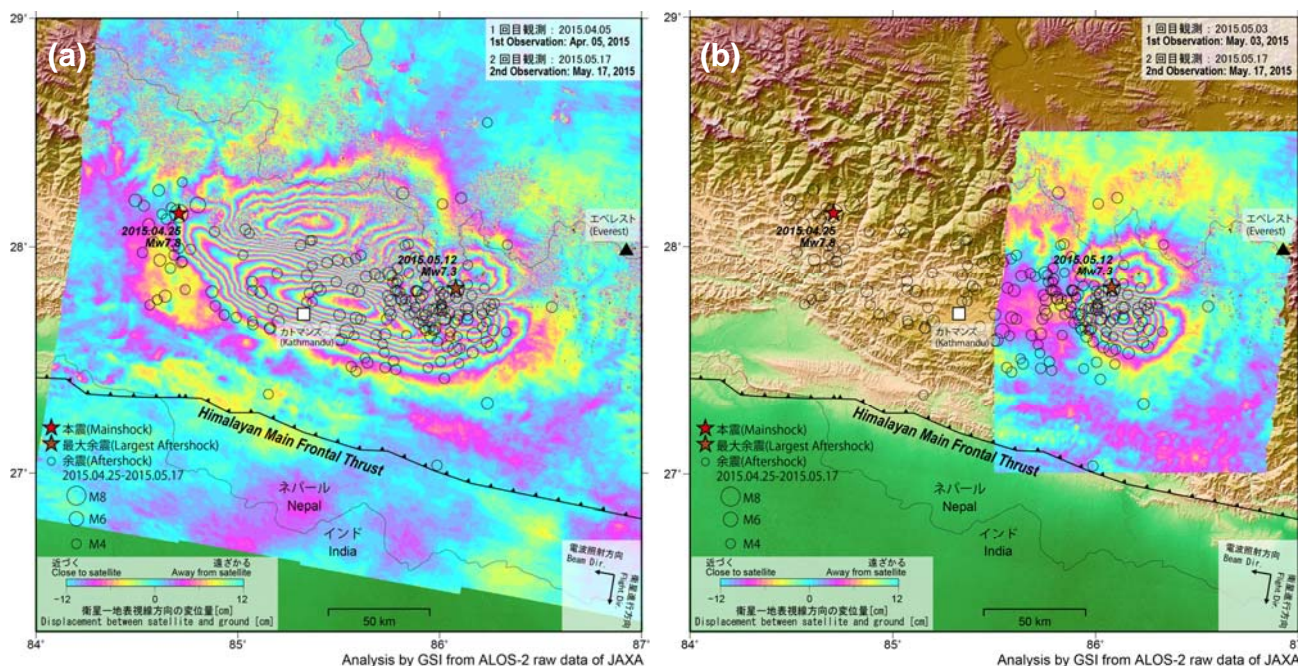


図1 ALOS-2/PALSAR-2データのSAR干渉解析により捉えられた本震および余震による地殻変動。赤い星印は本震及び最大余震の震央位置。丸印は余震の震央。(a) 本震+余震：2015年4月5日と5月17日のデータによる干渉SAR画像、(b)余震：2015年5月3日と5月17日のデータによる干渉SAR画像。

また、得られた干渉画像から、断層運動による長空間波長の地殻変動成分を取り除くことで、地震に伴い生じた局所的な地表面変動を検出することができた。図 2 はカトマンズ付近を拡大した図である。局所的な地盤沈下と考えられる変動が検出されている。

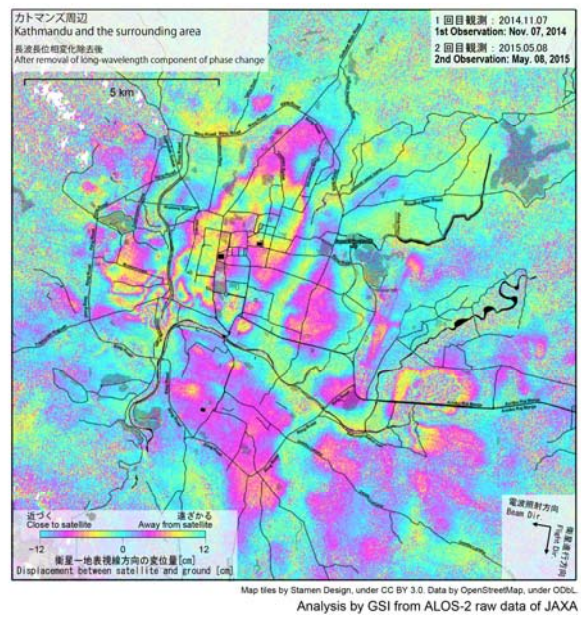


図 2 カトマンズ付近の局所的な地表面変動。2014 年 11 月 7 日と 2015 年 5 月 8 日のデータによる SAR 干渉画像から、長空間波長成分を除去して得られた差分画像。

SAR 干渉解析で得られた地殻変動から、滑り分布モデルを推定した。その結果、カトマンズの北東 20-30km の領域の直下に、最大 6m 超の滑りが推定された (図 3)。推定された Mw は 7.9 である。また、最大余震の西隣に極端に滑りが欠損している領域が見られることが分かった。

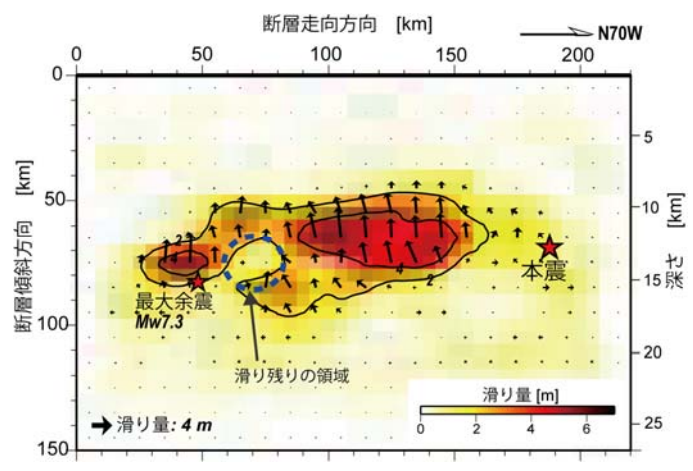
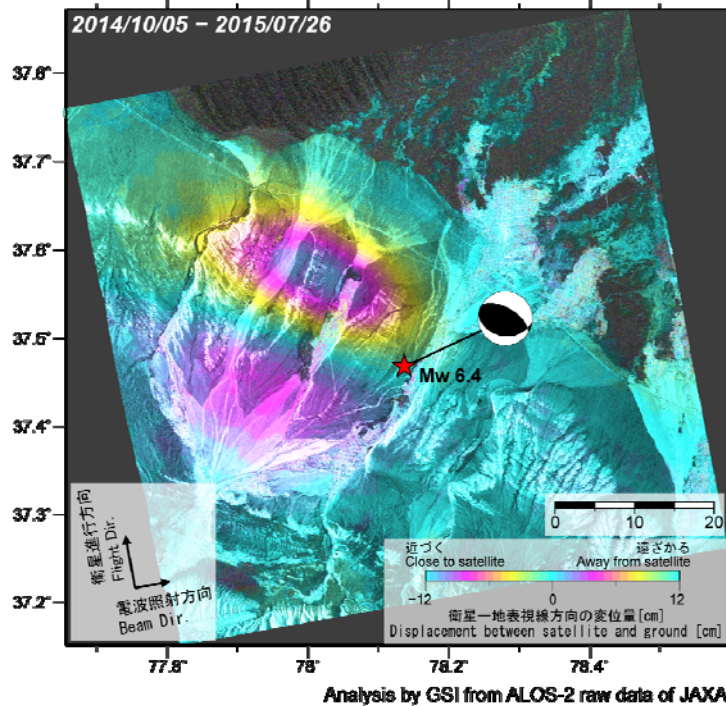


図 3 SAR 干渉データから推定された震源断層面上の地震時滑り分布図。矢印は滑りの方向と大きさ。等値線は 2m 間隔。赤い星印は本震及び最大余震の震源断層面への投影位置。

(2) 中国・新疆の地震 (2015 年 7 月 3 日、Mw6.4)

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析結果を図 4 に示す。地殻変動は 30km 程度の広がりをもっており、震源域の北側では最大約 10cm の衛星-地表視線方向の距離短縮、南側では最大約 3cm の距離伸長が見られた。得られた地殻変動は地震のメカニズムとも整合的である。



Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

図4 ALOS-2/PALSAR-2 データの SAR 干渉解析により捉えられた地震に伴う地殻変動。赤い星印は本震の震央位置。2014年10月5日と2015年7月26日のデータを解析したもの。

(3) チリの地震 (2015年9月16日、Mw8.3)

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析結果を図5に示す。震央の北50-70km 付近の沿岸部を中心に、1m 以上の変動が検出された。東側上空からの観測では衛星から遠ざかる向き(図5(a))、西側上空からの観測では衛星に近づく向き(図5(b))の変動となっており、西向きの変動が支配的であると考えられる。変動の分布から、断層の滑りの中心域は南緯31° 付近と考えられる。

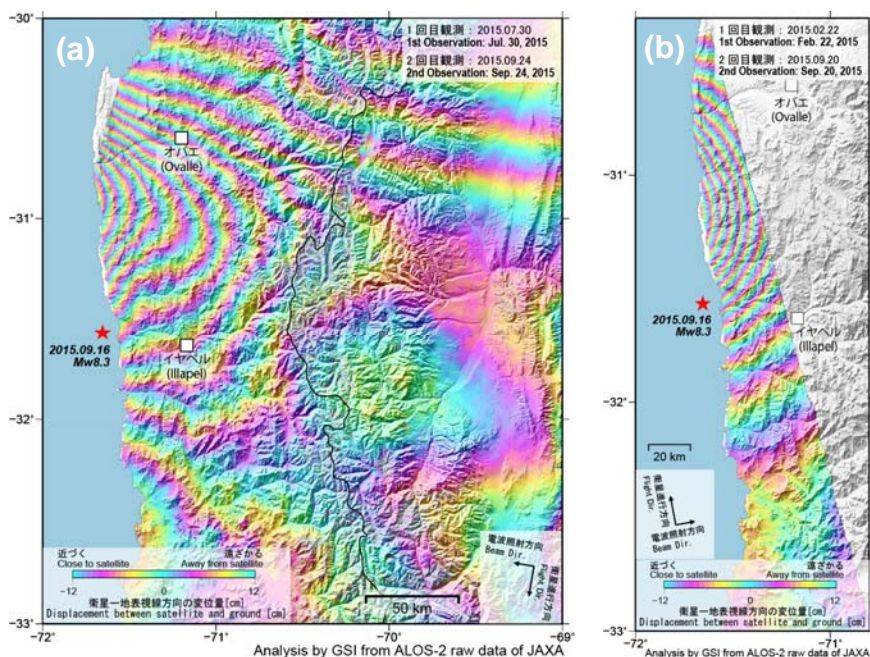


図5 ALOS-2/PALSAR-2データのSAR干渉解析により捉えられた地震に伴う地殻変動。赤い星印は本震の震央。(a)南行軌道：2015年7月30日と9月24日のデータによる干渉SAR画像、(b)北行軌道：2015年2月22日と9月20日のデータによる干渉SAR画像。

(4) タジキスタンの地震 (2015年12月7日、Mw7.2)

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析結果を図 5 に示す。変動の大きな地域が震央から北東方向に延びており、40km 以上に及んでいることが分かった。変動の分布から、北東-南西走向の左横ずれ断層運動が生じたと考えられる。北東部では変位の不連続が見られ、地表に断層が現れた可能性がある。

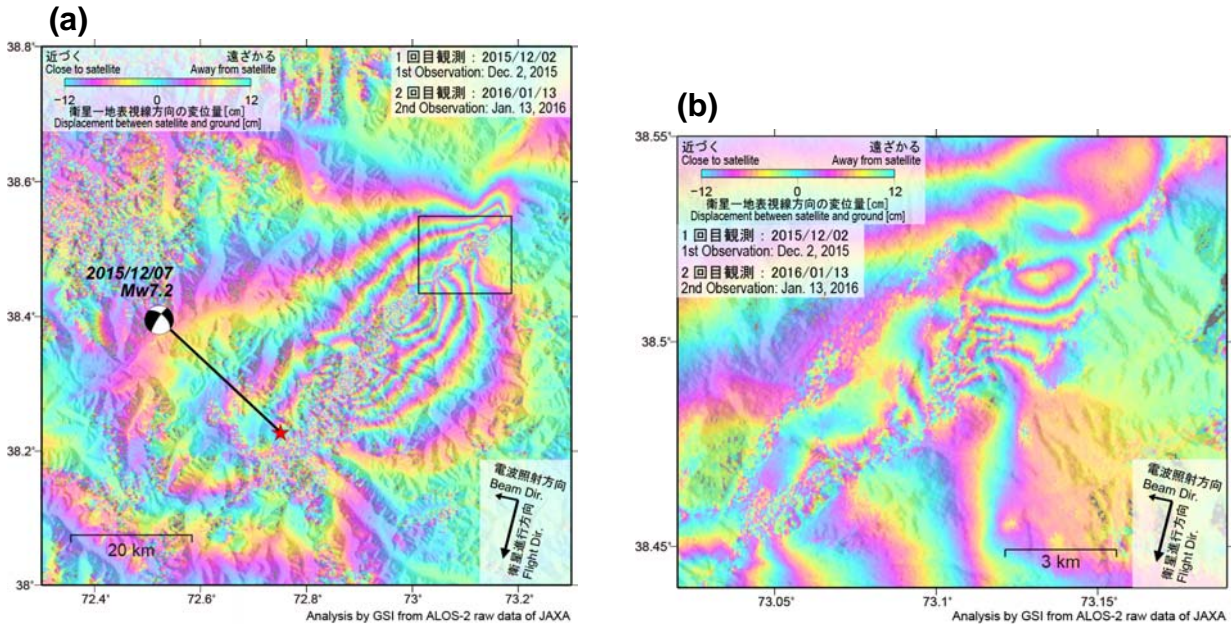


図5 ALOS-2/PALSAR-2データのSAR干渉解析により捉えられた地震に伴う地殻変動。赤い星印は本震の震央。(a) 2015年12月2日と2016年1月13日のデータによる干渉SAR画像、(b)北西部の拡大図。

(5) 台湾南部の地震 (2016年2月6日、Mw6.4)

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析結果を図 6 に示す。西側上空からの観測では震央の西側で衛星に近づく向きの変動 (図 6a)、東側上空からの観測では西側で衛星に近づく向き、その東側では衛星から遠ざかる向きの変動 (図 6b) が捉えられた。変動の特徴はメカニズム解と概ね整合的である。また、これらの観測結果から 2.5 次元解析を行い、準東西方向と準上下方向の変位分布を求めた (図 7)。震源付近で最大約 6cm の沈降及び最大約 10cm の西向きの変動、震源の西側約 20km 付近を中心に最大約 12cm の隆起、最大約 8cm の西向きの変動が見られている。北緯 22.97°、東経 120.33° 付近を中心とする南北約 10km、東西約 2km の領域では、周囲とは異なる東向きの変動が見られる。

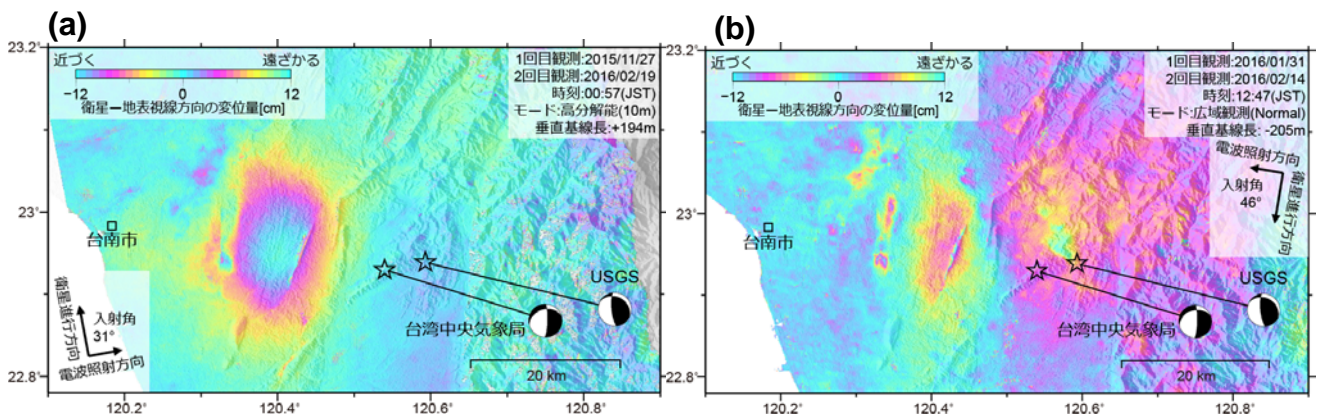


図6 ALOS-2/PALSAR-2データのSAR干渉解析により捉えられた地震に伴う地殻変動。星印は本震の震央(USGSおよび台湾中央気象局によるもの)。(a)北行軌道:2015年11月27日と2016年2月19日のデータによる干渉SAR画像、(b)南行軌道:2016年1月31日と2月14日のデータによる干渉SAR画像。

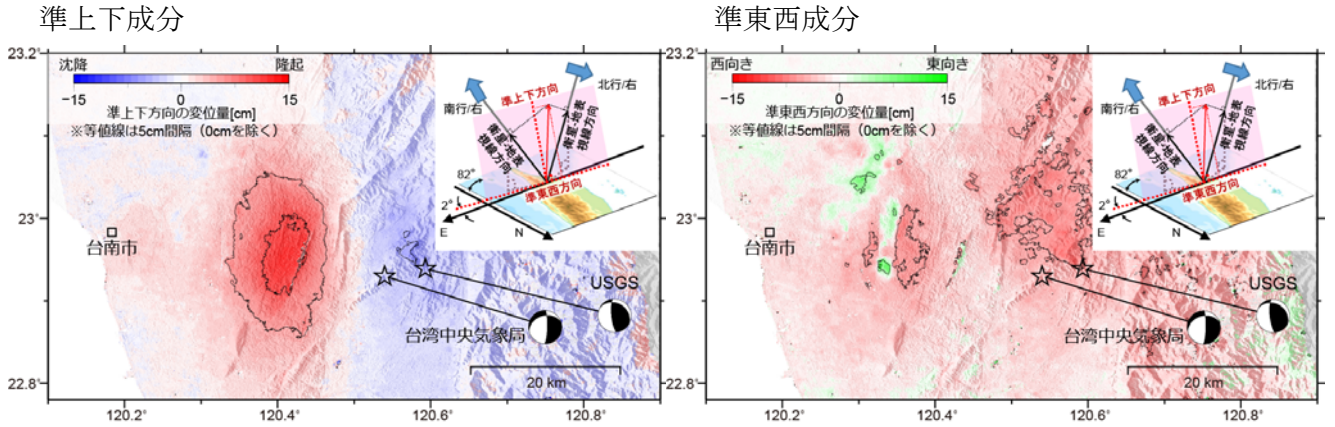


図7 2.5次元解析で得られた準上下成分（左）および準東西成分（右）。

(6) 長野県北部の地震（2014年11月22日、M6.7）の余効変動

2014年に発生した長野県北部の地震では、GNSS観測により震源域周辺でわずかながら余効変動が観測されている。震源域近傍での余効変動を明らかにするため、地震直後の2014年11月28日と約7ヵ月後の2015年6月26日のALOS-2/PALSAR-2データを用いてSAR干渉解析を行った。解析の結果、地震時に大きな変位が観測された震源域南部において、衛星に近づく位相変化が捉えられた(図8)。変位量では4~5cm程度に相当する。位相変化が検出された領域は、地震時に出現した地表地震断層の上盤側にあたり、変位の向きは地震時の変位と同様である。

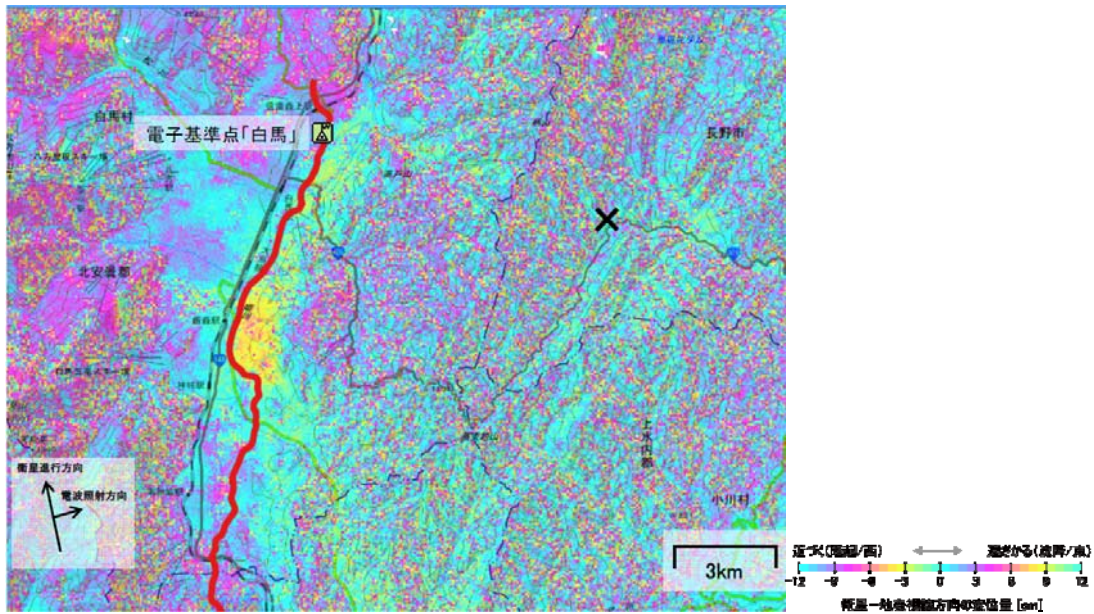


図8 ALOS-2/PALSAR-2データのSAR干渉解析により捉えられた長野県北部の地震の余効変動。2014年11月28日と2015年6月26日のデータを解析した。×印は本震の震央。赤線は神城断層（都市圏活断層図による）。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

○論文

- ・ Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Yarai (2015), Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, Earth Planets Space, 67:201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.

○学会発表

- ・ 森下遊・小林知勝・矢来博司，2015，ALOS-2 データによって検出されたネパールの地震に伴う地殻変動と震源断層モデル，地球惑星科学連合 2015 年大会.
- ・ 森下遊・小林知勝・矢来博司，2015，ALOS-2 干渉 SAR によるネパール（Gorkha）地震に伴う地殻変動の計測，日本測地学会第 124 回講演会.
- ・ 森下遊・小林知勝・矢来博司，2015，ALOS-2 干渉 SAR によるネパール（Gorkha）地震に伴う地殻変動の計測，日本地震学会 2015 年秋季大会.
- ・ 小林知勝・森下遊・矢来博司，2015，ALOS-2 干渉 SAR データから得られたネパール（Gorkha）地震の震源断層モデル，日本地震学会 2015 年秋季大会.
- ・ Morishita, Y., T. Kobayashi, H. Yarai, 2015, Measuring Crustal Deformation Caused by Nepal (Gorkha) Earthquake Using ALOS-2 SAR Interferometry, AGU 2015 Fall Meeting.
- ・ 矢来博司・山田晋也・森下遊・小林知勝・飛田幹男，2015，2014 年長野県北部の地震の余効変動，地震学会 2015 年秋季大会.

○地震予知連絡会

- ・ 国土地理院，2015，2015 年 4 月 25 日ネパールの地震に関する合成開口レーダー（SAR）解析結果，第 207 回地震予知連絡会資料.
- ・ 国土地理院，2015，2015 年 7 月 3 日中国・新疆の地震に関する合成開口レーダー解析結果，第 208 回地震予知連絡会資料.
- ・ 国土地理院，2015，2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震の余効変動（2），第 208 回地震予知連絡会資料.
- ・ 国土地理院，2015，2015 年 9 月 17 日チリの地震に関する合成開口レーダー解析結果，第 209 回地震予知連絡会資料.
- ・ 国土地理院，2016，2015 年 12 月 7 日タジキスタン共和国の地震に関する合成開口レーダー解析結果，第 210 回地震予知連絡会資料.
- ・ 国土地理院，2016，2016 年 2 月 6 日台湾の地震に関する合成開口レーダー解析結果，第 210 回地震予知連絡会資料.

○Web

- ・ 国土地理院，2015，2015 年 4 月 25 日ネパールの地震に伴う地殻変動，<http://www.gsi.go.jp/cais/topic150429-index.html> (accessed 1 Mar. 2016).
- ・ 国土地理院，2015，2015 年 9 月 16 日チリの地震に伴う地殻変動，<http://www.gsi.go.jp/cais/topic151006-index.html> (accessed 1 Mar. 2016).
- ・ 国土地理院，2016，2015 年 12 月 7 日タジキスタンの地震に伴う地殻変動，<http://www.gsi.go.jp/cais/topic160115-index.html> (accessed 1 Mar. 2016).
- ・ 国土地理院，2016，2016 年 2 月 6 日台湾の地震に伴う地殻変動，

<http://www.gsi.go.jp/cais/topic160303-index.html> (accessed 4 Mar. 2016).

来年度以降の課題・計画：

引き続き、国内外で大規模な地震が発生した場合、観測されたデータを早急に解析し、地殻変動、地表面変動の詳細な把握を行う。

また、これまでに国内外で発生した地震に関して、ALOS/PALSAR のアーカイブデータ等を利用して SAR 干渉解析を行い、震源断層のモデル化を通してその発生メカニズムを調べる。

地殻変動が大きく地震発生が危惧される地域（新潟県内ひずみ集中帯、御前崎地区など）や、地震後の余効変動が見られる地域について、干渉 SAR 時系列解析等により、地殻変動の時空間変化の把握を試みる。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

代表研究者 氏名 (所属機関) : 小澤 拓 (防災科学技術研究所)

支援研究者 氏名 (所属機関) : 宮城 洋介 (防災科学技術研究所)

課題名称 : 地震に伴う地殻変動の検出を目的とした緊急観測データの解析

今年度の成果概要 :

地震 WG を通じて提供されたパプアニューギニアの地震 (2015 年 3 月 29 日, Mw7.5, 図 1), ネパール Gorkha 地震 (2015 年 4 月 25 日, Mw7.8, 図 2), ボルネオの地震 (2015 年 6 月 4 日, Mw6.0, 図 3), タジキスタンの地震 (2015 年 12 月 7 日, Mw7.2, 図 4) に関する PALSAR-2 データに SAR 干渉解析を適用して地殻変動を検出した. 解析結果は地震 WG のメーリングリストで報告した. また, ScanSAR データの画像マッチング処理においては, 真値と同程度の相関を持つずれ量がアジマス方向に数ピクセルごとに現れることを発見し (図 5), 地震 WG のメーリングリストにおいて議論を行った.

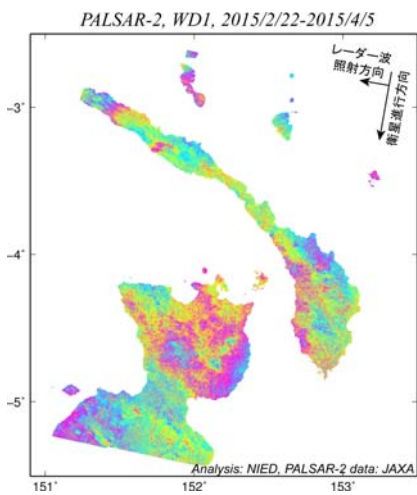


図 1. パプアニューギニアの地震に関する SAR 干渉解析結果

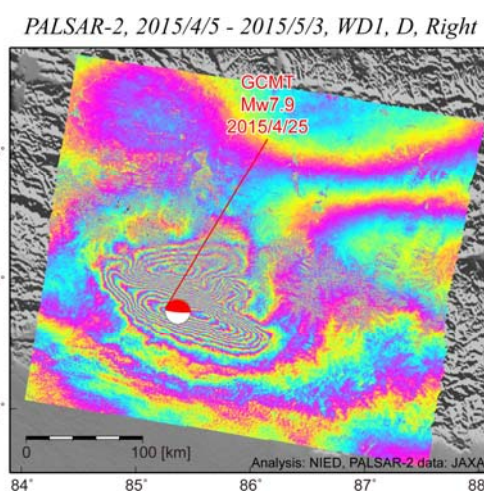


図 2. ネパール Gorkha 地震に関する SAR 干渉解析結果

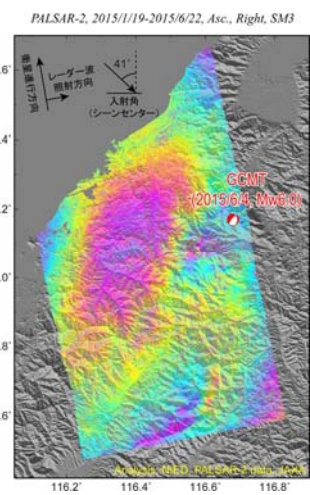


図 3. ボルネオの地震に関する SAR 干渉解析結果

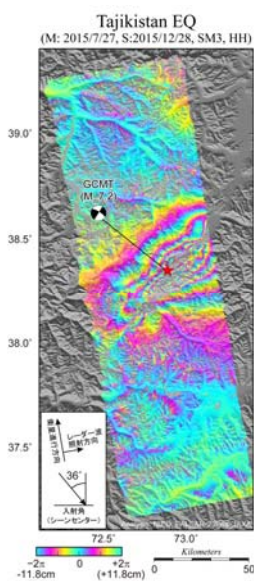


図 4. タジキスタンの地震に関する SAR 干渉解析結果

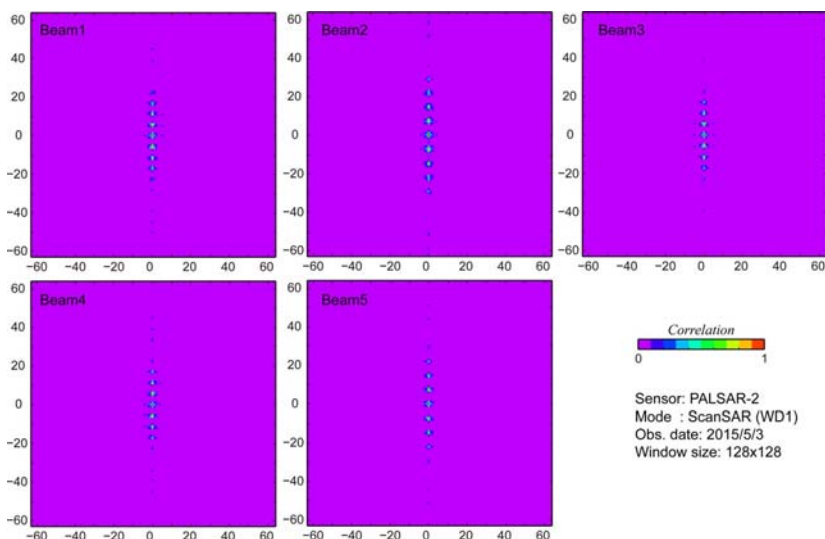


図 5. ScanSAR データの画像マッチング時における, ずれ量に対する相関値の分布. 横軸はレンジ方向, 縦軸はアジマス方向のずれ量.

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

特になし.

来年度以降の課題・計画：

本 WG を通じて緊急観測データが提供された場合には、そのデータから地殻変動の検出を行う。また、得られた地殻変動情報から、断層モデルの推定を行う。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

特になし.

代表研究者 氏名 (所属機関) : 中村浩二 (気象庁)

支援研究者 氏名 (所属機関) : 迫田浩司 (気象庁)、鬼澤真也 (気象庁)、兒玉篤郎 (気象庁)、安藤忍 (気象研究所)

課題名称 : 地殻変動の詳細把握

今年度の成果概要 :

- PALSAR データを用いた PS-InSAR 解析および SBAS 解析により、紀伊半島周辺の定常的な地殻変動検出を目的として InSAR 時系列解析を行った (図 1a)。その結果、沿岸部で衛星視線方向のわずかな伸張が検出されたのに対し、内陸部でほとんど変化がないことが分かった (図 1b)。また、PALSAR-2 データを用いた約 1 年間の差分干渉解析では、ノイズレベルを超える位相変化は検出されなかった (図 1c)。

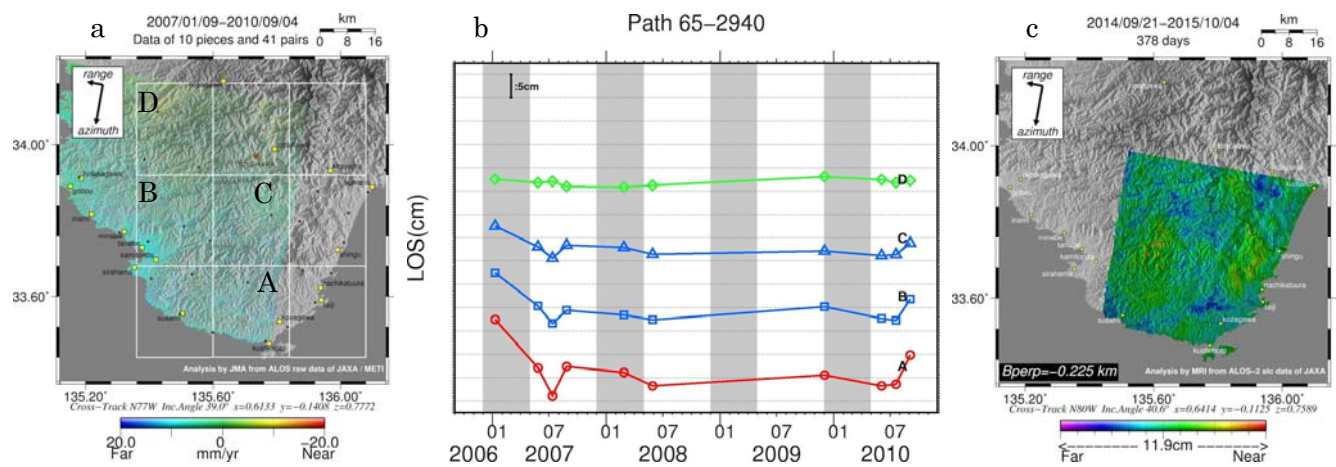
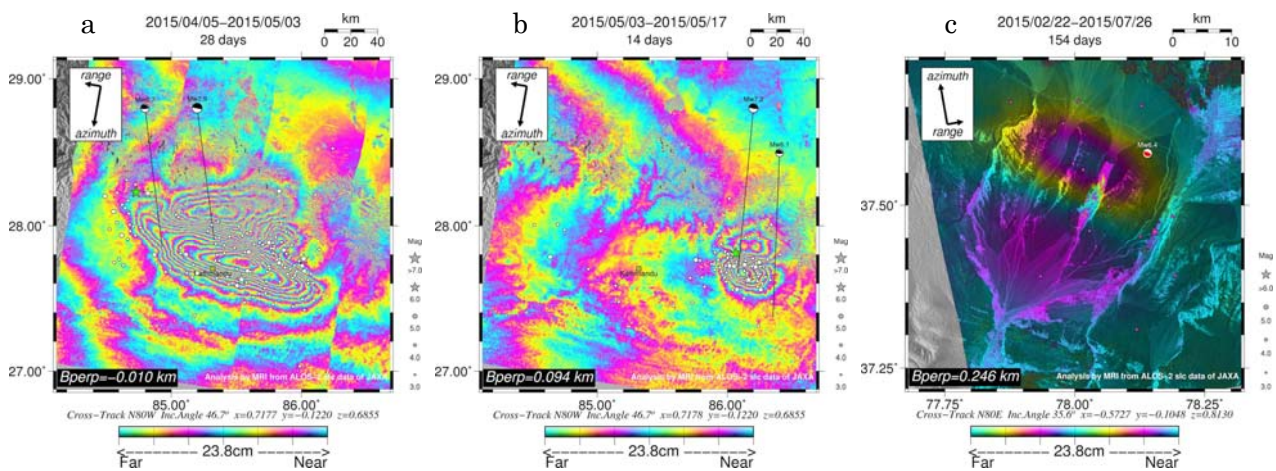


図 1 紀伊半島周辺の InSAR 時系列解析 (PALSAR-1) と差分干渉解析 (PALSAR-2) の一例 (a : 平均変動速度、b : 図 a の各領域における時系列変化、c : PALSAR-2 差分干渉画像)

- 地震 WG 経由で提供された海外で発生した地震の緊急観測データ (PALSAR-2) について、差分 SAR 干渉解析を実施し、各々の地震に伴う地殻変動を検出した (図 2a-f)。



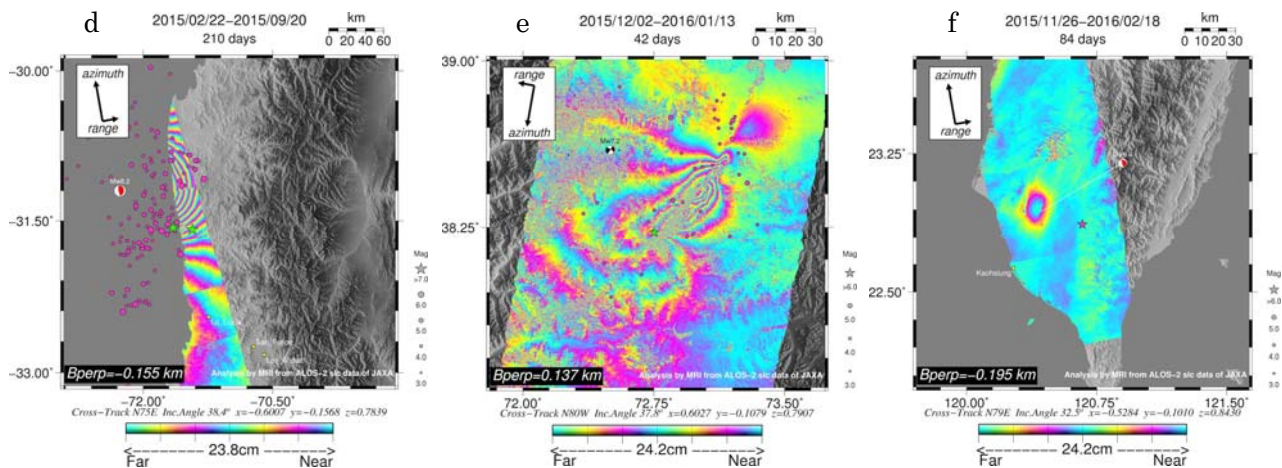


図2 緊急観測により提供された PALSAR-2 データを用いた差分干渉解析画像の一例

図 a : 2015 年 4 月 25 日に発生したネパールの地震 (Mw7.9)

図 b : 2015 年 5 月 12 日に発生したネパールの地震 (Mw7.2)

図 c : 2015 年 7 月 3 日に発生した中国、シンチアンウイグル自治区南部の地震 (Mw6.4)

図 d : 2015 年 9 月 17 日に発生したチリ中部沿岸の地震 (Mw8.3)

図 e : 2015 年 12 月 7 日に発生したタジキスタンの地震 (Mw7.2)

図 f : 2016 年 2 月 5 日発生した台湾付近の地震 (Mw6.4)

成果発表の状況 (今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい) :

安藤忍、迫田浩司、吉田康宏、2015、ALOS-2 干渉解析による長野県北部の地震に伴う地殻変動、日本地球惑星科学連合大会

安藤忍、迫田浩司、中村浩二、2015、InSAR 時系列解析による紀伊半島地域の定常的な地殻変動、日本地震学会 2015 年度秋季大会

来年度以降の課題・計画 :

引き続き、南海トラフ周辺地域の長期的な地殻変動把握及び地震の発生メカニズム解明のために、干渉 SAR 解析を進め、他のデータから推定されるモデルと比較する。

その他希望する支援 (研修・サポート・ソフトウェア等)、地震 SAR 解析 WG への要望 :

気象庁では異動などにより、解析経験者が少ない状態となっている。新たな人材に対して、研修などのサポートを引き続きお願いしたい。

代表研究者 氏名 (所属機関) : 橋本 学 (京都大学防災研究所)

支援研究者 氏名 (所属機関) :

課題名称 : ALOS-2/PALSAR-2 を用いた活断層帯周辺の地震前・時・後の地殻変動の研究

今年度の成果概要 :

①2015 年 4 月 25 日ネパール地震による地殻変動

2015 年 4 月 25 日に発生したネパール・ゴルカ地震 (Mw7.8) 前後の ALOS-2/PALSAR-2 画像を解析し、干渉法により地殻変動を検出した。図 1 (左) は WD1 モードの Path48Frame3150 の 4 月 5 日と 5 月 17 日の画像のペアの解析結果である。差分干渉画像には大きい残差縞が認められるため、これを多項式で近似し、除去した。カトマンズ北方を中心とする大きな変動 (視線距離短縮約 8 サイクル) が認められる。さらに、北方に視線距離伸長の変動も認められ、低角逆断層運動が生じたことを示唆する。なお、東部の局所的な変動は、5 月 12 日の最大余震 (Mw7.2) によるものである。Fukahata and Wright (2008) の方法で、すべり分布と傾斜角を推定したところ、傾斜角の最適値は 15 度と求まり、図 1 右下に示すすべり分布が得られた。最大すべりは 4m を超えているが、比較的単純な空間分布をしていることがわかった。図 1 右上は、このモデルから得られる理論変動である。

P48F3150 は 2 月 22 日にも観測がなされており、地震前のペアによるコヒーレンスと地震を挟むペアのコヒーレンスの差をとることにより、カトマンズ北方にコヒーレンス低下領域が存在することがわかった。このコヒーレンス低下領域と地すべり発生地点を比較するとよく調和しており、WD1 モードによっても、コヒーレンス変化が地すべりなどの被害地域の把握に使えることがわかった。

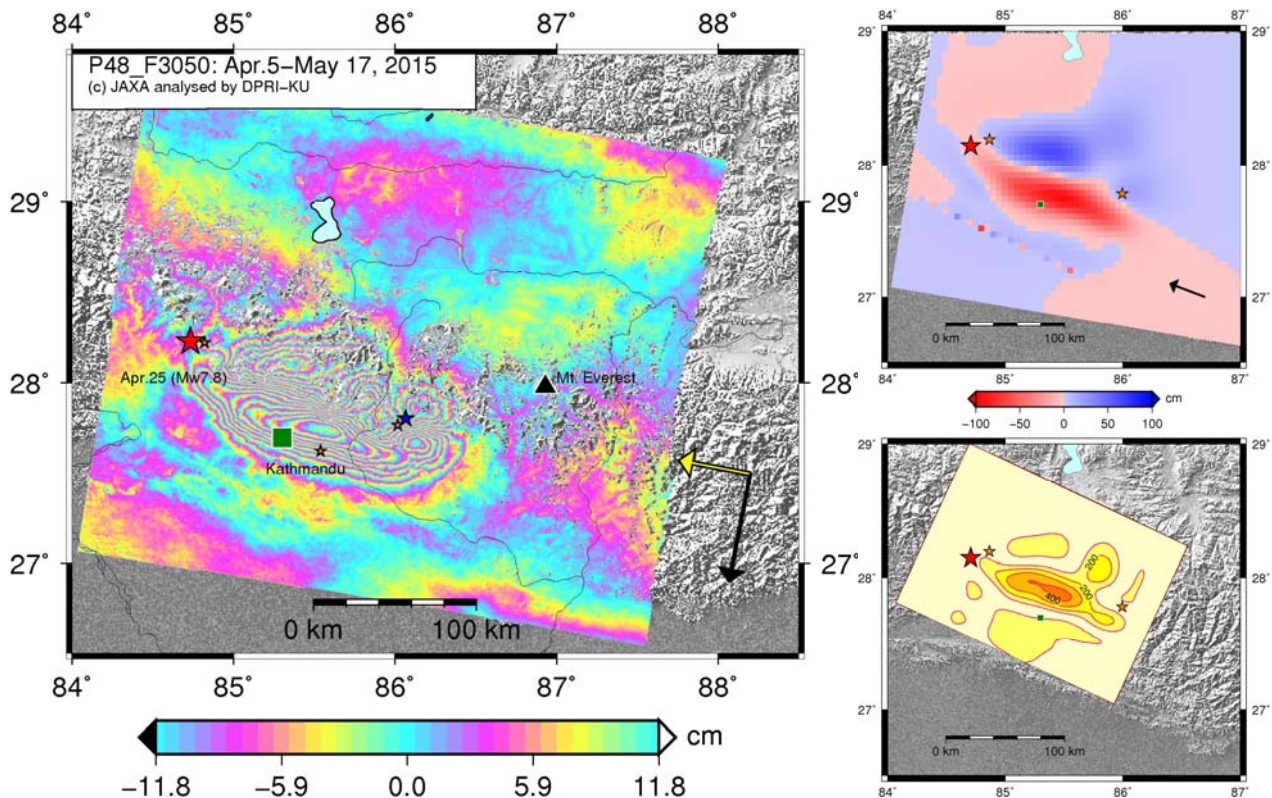


図 1. (左) P48F3150 の 2015 年 4 月 5 日と 5 月 17 日のペアによる干渉画像。残存縞を多項式で近似・除去し、ラップして表示したもの。(右下) 得られた地殻変動から推定したすべり分布。逆断層成分のみを推定。(右上) 前記のモデルから推定される理論的視線距離変化の分布。

②2016年2月6日台湾南部の地震による地殻変動

2016年2月6日に台湾南部高雄市を震源とするM6.4の地震が発生し、隣接する台南市に大きな被害が発生した。この地震前後のALOS-2/PALSAR-2画像を干渉処理し、地震に伴う地表面変動を検出した。図2は、北行軌道からの画像の干渉処理結果をUSGSによる震度分布と重ねて表示したものである。顕著な視線距離短縮の変動が震央の西方に認められ、デコルマの逆断層運動と解釈することが可能である。震度が大きい地域はこの領域のさらに西側にある。震度の大きい地域内には、河川に沿った沖積平野において視線距離伸長の領域が認められる。現地調査の結果、液状化が広域に認められることから、この変動は断層運動による地殻変動とは考えにくい。これらの領域に挟まれて、短波長の変動が重畳していることがわかる。コヒーレンス画像を見ると、南北走向の直線的な低コヒーレンスの帯が認められる。現地調査によると、この低コヒーレンス帯に沿って、地表に微小なクラックが確認されている。この地域の特異な地下構造が、地表面変動に影響を及ぼしているものと考えられる。

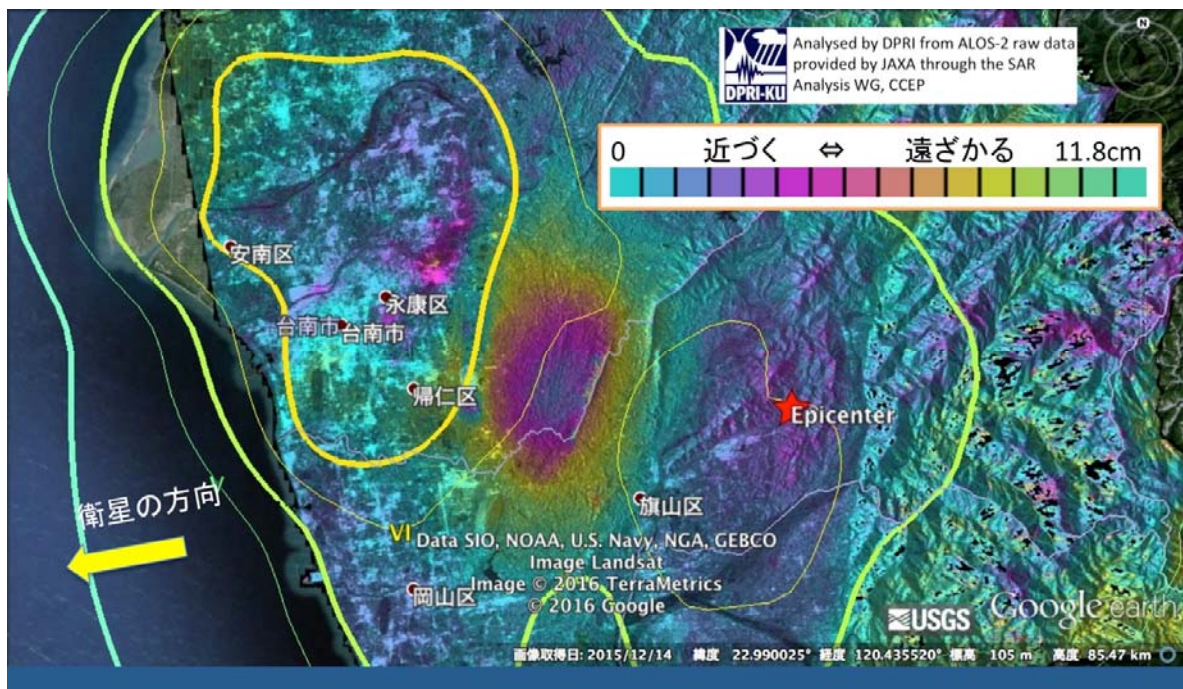


図2. 2016年2月6日の台湾南部の地震にともなう地表面変動。画像は、パス137・フレーム450で、マスターは2015年11月26日、スレーブは2016年2月18日。曲線は、USGSによる等震度線。赤い星が、USGSによる震央。

③その他の地震による地殻変動

上記の2地震に加え、2015年3月30日のパプア・ニューギニアの地震、6月4日のボルネオの地震、7月3日中国・新疆の地震、12月7日タジキスタンの地震等前後のALOS-2/PALSAR-2画像を干渉解析し、ボルネオの地震を除き、有意な地殻変動を検出した。ボルネオの地震については、有意な変動を検出できなかった。震源の深さや規模、さらには地形の影響などが原因と考えられる。また、2014年11月の長野県北部の地震の余効変動を検出するために、地震後の画像（北行軌道）を解析した。震源域の南部の一部に、微細な視線距離短縮の変動を検出した。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

橋本学，宇宙から見る自然災害—人工衛星が捉えたネパール地震による大地の変動，京大サマースクール，2015年8月，京都市

Hashimoto, M., High resolution monitoring of surface deformation with SAR, French-Japanese Symposium on earthquakes & Triggered Hazards, 51-52, 2015年9月，フランス・オルレアン市

橋本学，ALOS-2/PALSAR-2 で見たネパール地震，第34回日本自然災害学会学術講演会，2015年9月，山口市

橋本学，ALOS-2/PALSAR-2 で見たネパール地震，日本測地学会第124回講演会，2015年10月，福岡市

橋本学，だいち2号で捉えた地震・火山噴火，第8回宇宙学セミナー，2015年10月，京都市

橋本学，ALOS-2/PALSAR-2によるネパール地震の地殻変動，日本地震学会2015年度秋季大会，2015年10月，神戸市

Lindsey E., R. Natsuaki, X. Xu, M. Shimada, M. Hashimoto, D. Melgar, D. Sandwell, Line-of-sight displacement from ALOS-2 interferometry: Mw 7.8 Gorkha Earthquake and Mw 7.3 aftershock, Geophysical Research Letters, 42, doi:10.1002/2015GL065385, 2015.

Lindsey E., R. Natsuaki, X. Xu, M. Shimada, M. Hashimoto, D. Melgar, D. Sandwell, Line of sight displacements from ALOS-2 ScanSAR interferometry, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, G13B-04, 2015年12月，アメリカ・サンフランシスコ市

Hashimoto, M., Observation of the Gorkha, Nepal earthquake of April 23, 2015 with ALOS-2/PALSAR-2, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, G21A-1011, 2015年12月，アメリカ・サンフランシスコ市

来年度以降の課題・計画：

今年度と同様に，各地の顕著な地震発生時には地震時変動を捉えるために，ALOS-2/PALSAR-2 画像の解析を行う。また，特に台湾南部の地震の余効変動など，地震後の変動も追跡する。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

ALOS-2/PALSAR-2 の L1.0 画像の提供について進めていただきたい。Strip-map mode の場合，フレーム毎に Doppler 周波数が異なるため，干渉画像にフレーム間で不連続が生じる。Doppler 周波数を SLC 画像を用いて揃えることは可能であるが，その結果得られる干渉画像が歪む問題が生じる。精度の高い地表面変動データを得るためには不可欠な課題と考える。

新しい http での SLC データ提供システムのおかげで，ダウンロードに要する時間は大幅に短縮された。感謝申し上げます。ただ，取得した SLC を保管するために大きな記憶装置が必要となる。また，なぜか二重にアーカイブされているため，2度 unzip を走らすことになり，少々不便である。また，提供されるファイル名が数値のみのため，後から認識するのが不便である。いずれもユーザー側で準備すればよいことであるが，できれば改善に向けて検討をお願いしたい。

代表研究者 氏名 (所属機関) : 古屋正人 (北海道大学大学院理学研究院)

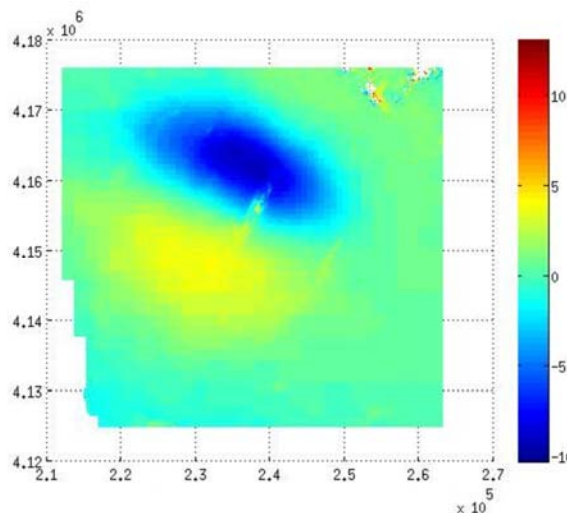
支援研究者 氏名 (所属機関) : 高田陽一郎 (北海道大学大学院理学研究院)

課題名称 : 陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明

今年度の成果概要 :

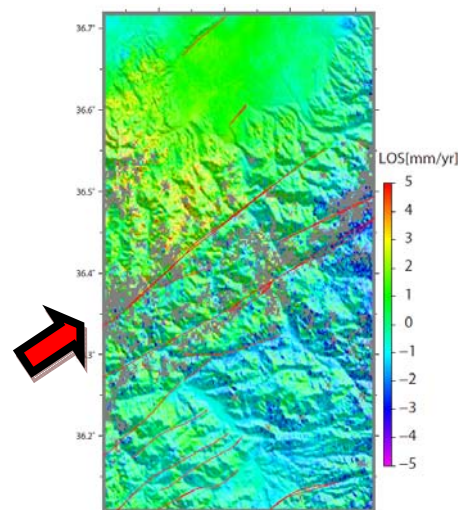
1, 2015 年 7 月 3 日に中国新疆ウイグル自治区ホータンで発生した Mw6.4 の地震に伴う地殻変動を ALOS2 データに基づいて検出した (図 1). ALOS2 データは 2014 年 10 月 5 日と 2015 年 7 月 26 日に Ascending 軌道で得られたものである. 地震の断層運動に伴う地殻変動のほかに, 地震で誘発されたと見られる局所的な変動も見られた.

図 1 : ALOS2 データで得られた差分干渉画像. 青色 (黄色) は衛星視線距離 (単位は cm) が短くなる (長くなる) ことを示している. 縦軸横軸は UTM 座標 (単位は meter).



2, 跡津川断層周辺の地震間地殻変動を ALOS データを用いて推定した. 各干渉画像を GPS データで補正した上で, 時系列解析 (SBAS) を行い, 牛首断層近傍に大きな変位勾配を見出した.

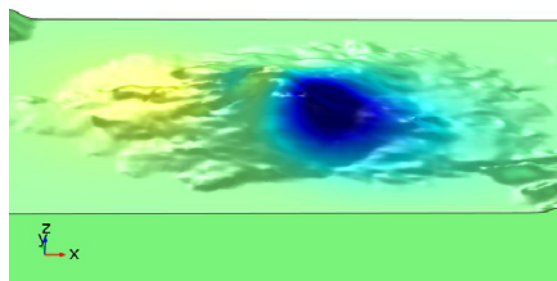
図 2: 平均速度場. 赤線は活断層. 牛首断層を赤矢印で示す.



Finite element model and dLOS of Sakurajima

3, 2015 年 8 月の桜島の火山性地殻変動を、地形をフルに考慮した有限要素法モデルでダイク貫入による地表変位場を計算した. DEM は今のところ SRTM を用いている.

図 3: 桜島の衛星視線方向の地表変動. 南方上空から見た図.



成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

高田陽一郎・鷺谷威・西村卓也、跡津川断層周辺における地震間地殻変動の特徴、日本測地学会第 124 回講演会、日本測地学会、九州大学西新プラザ（福岡）、口頭発表、2015 年 10 月 14 日

Youichiro Takada, Takeshi Sagiya, Takuya Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS, AGU Fall Meeting, AGU, Moscone Center, San Francisco (USA), ポスター発表, 2015年12月15日

Youichiro Takada, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS, The 2nd PI workshop for ALOS2, JAXA, Akihabara Convention Hall, Tokyo (Japan), 口頭発表、2015年11月18日

高田陽一郎、InSAR と GPS を用いた跡津川断層周辺の地殻変動様式の解明、研究集会「地殻ダイナミクス－東北沖地震後の内陸変動の統一的理解－」、新学術領域「地殻ダイナミクス」、エポカ 21(宮城)、口頭発表、2015 年 9 月 27 日

来年度以降の課題・計画：

未定.

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

「地震」に限ったことではないが、“緊急観測”の頻度が高すぎる感じがする。ALOS2 を用いた時系列解析的な研究が困難になっていると思う。

代表研究者 氏名（所属機関）： 中尾 茂 （鹿児島大学大学院理工学研究科）

支援研究者 氏名（所属機関）：

課題名称：干渉 SAR 解析を用いた変位速度急変帯の地震発生ポテンシャルの評価に関する研究

今年度の成果概要：

九州南部の GEONET により明らかにされた変位速度の急変帯について、その特徴を明らかにするために InSAR 解析を継続した。昨年度は鹿児島県と宮崎県の県境付近のアセンディング画像 21 シーンについて Hopper et al. (2004)により開発された StaMPS v3.3b1 を用いて PS 干渉 SAR 解析をおこなった。

今年度はほぼ同じ地域をディセンディング軌道から撮像した 22 シーンを用いて StaMPS v3.3b1 を用いて PS 干渉 SAR 解析を行った。期間は 2007 年 2 月から 2011 年 4 月である。得られた平均視線速度を図 1 に示す。画像上部が視線が短くなり、下部が長くなるという結果を得た。これは GNSS 観測から期待される結果と異なっている。各シーンの変動の中には、画像全体に長波長の変動があるものがあり、その視線速度の短縮から伸長へ変わる位置が GNSS から期待される変位速度急変帯の位置に一致することから、長波長変化を取り除くと求めたい変位速度急変帯の情報も失う可能性がある。そのため、長波長のノイズを如何に取り除くかが今後の課題である。

鹿児島大学が宮崎県都城市を中心とした地域でおこなっている GNSS 稠密観測と GEONET データを用いて求めた変位速度からディセンディング軌道の視線方向変化をシミュレートした結果を図 2 に示す。先にも述べたが、GNSS から期待される視線速度の空間分布と今回求められた LOS の平均速度は異なっていることがわかる。

画像全体におよぶ長波長変化と変位速度急変帯の情報との分離が課題であることがわかった。

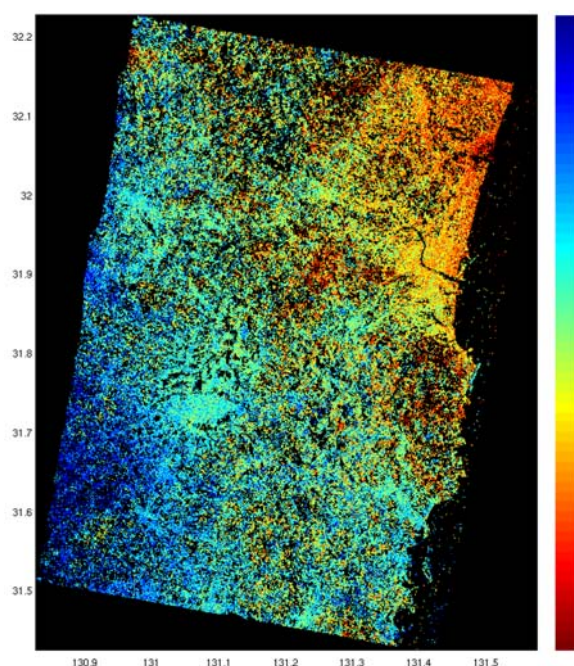


図 1. LOS の平均速度。データは 2007 年 2 月から 2011 年 4 月まで。

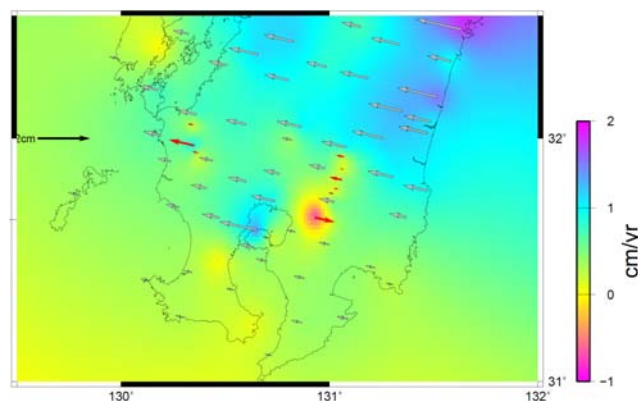


図 2. GNSS データからシミュレートしたディセンディング画像の視線速度。ベクトルは GNSS 観測点での視線変化の水平成分を示す。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

なし

来年度以降の課題・計画：

平成 28 年度は，平成 27 年度までの解析に基づき，鹿児島県と熊本県の県境について解析を継続し，九州南部を東西に横断している変位急変帯の地殻変動を明らかにする。

課題となった長波長変化の分離をすすめるため，ディセンディング軌道による 22 シーンのすべての組み合わせの InSAR 解析を行い，各干渉画像の長波長変化の特徴を，単純な平面で長波長変化を近似し取り除くことを試みたりし，把握する。アセンディング軌道によるシーンについても同様なことを行い，長波長変化を取り除き，求めたい変位急変帯を明らかにする。

急変帯に固着領域がある場合などを想定し，急変帯がどのような原因で生じているかの解釈を試みる。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

なし

代表研究者 氏名（所属機関）：夏秋 嶺（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）

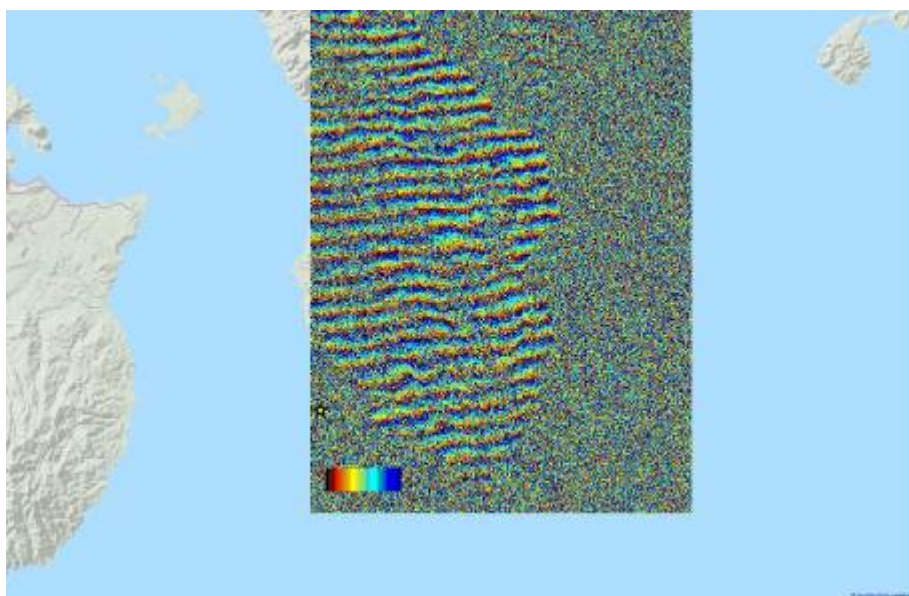
支援研究者 氏名（所属機関）：本岡 毅（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）
島田 政信（東京電機大学 理工学部）

課題名称：PALSAR-2 と PALSAR の地殻変動検出能力の比較

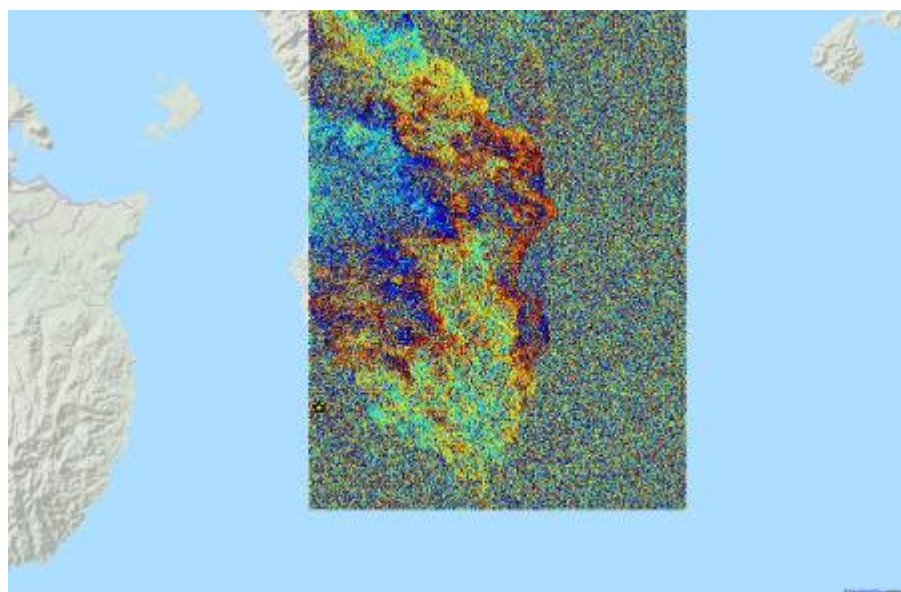
今年度の成果概要：本年度は主に ScanSAR 干渉による広域の地殻変動の抽出に主眼を置き、以下の解析を行った。本年は国内では大きな地震が無く、もっぱら海外の事例のみである。

・ニューギニア地震

パプアニューギニアで 3 月 30 日に発生した M7.5 の地震に際し、緊急観測データの干渉処理から地殻変動の検出を試みた。当初の想定に反し干渉縞に周期的な縞が重畳され、有意な地殻変動が検出されなかった。また、縞の周期性を線形近似することにより除いたものの、同様に地殻変動は検知されなかった。



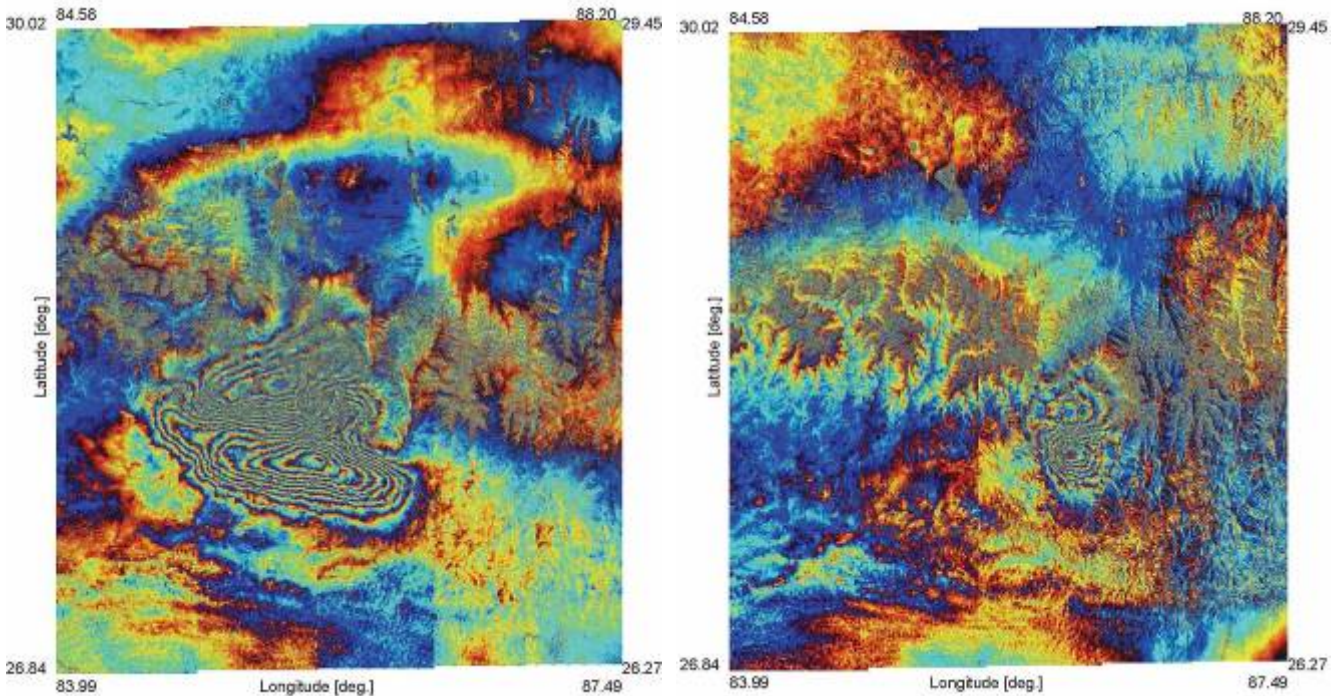
2015/2/17 - 2015/3/31 の干渉画像。周期的な干渉縞が見られる。



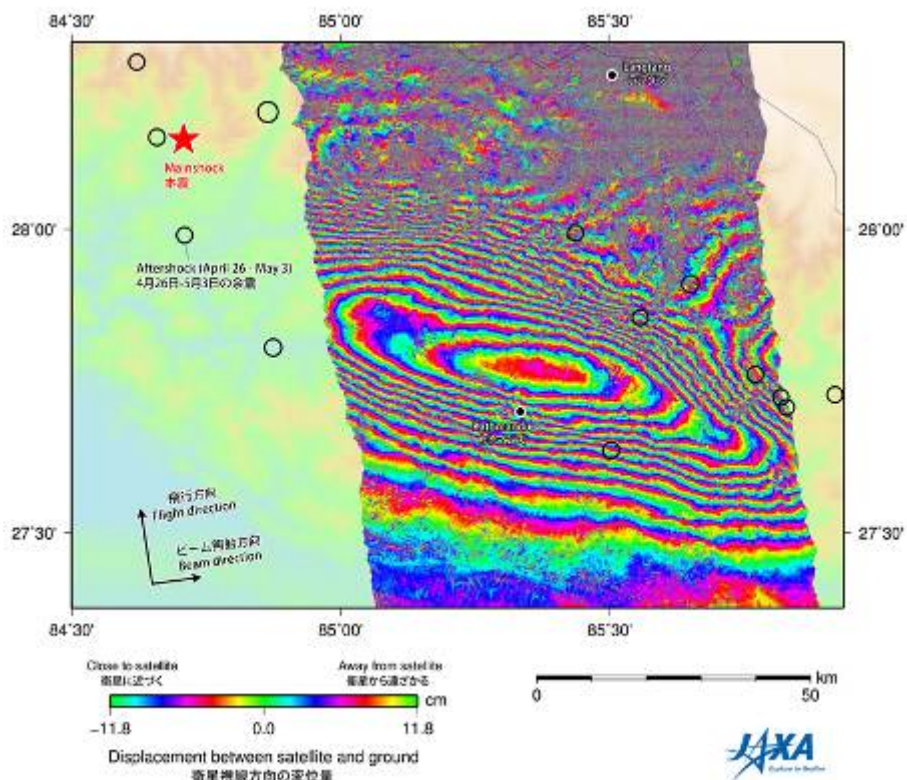
上の干渉画像より周期的な縞を一次近似し取り除いたもの。

・ネパール地震

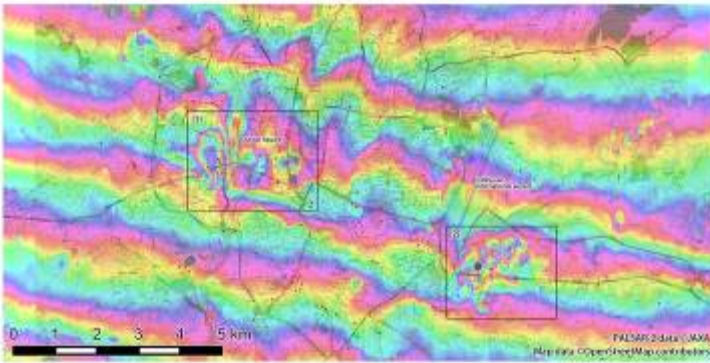
4月25日にネパールで発生したM7.8地震およびその余震に際し、緊急観測による地殻変動の抽出、強度画像による地滑り・雪崩域の抽出、3時期コヒーレンス解析による建物被害域の抽出を行った。また、ニューギニア地震における教訓を生かし、ScanSAR 干渉画像には線形近似による周期的な縞の除去を施すこととした。



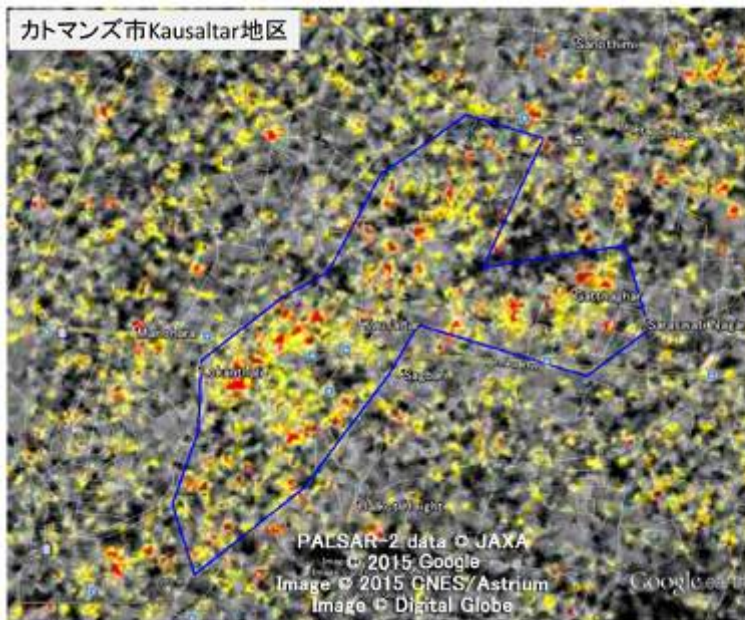
(左) 2015/4/5 - 2015/5/3 の干渉ペアにより捉えられた本震の干渉画像。最大変位は1.2m程度と推測される。(右) 2015/5/3 - 2015/5/17 の干渉ペアにより捉えられた最大余震の干渉画像。



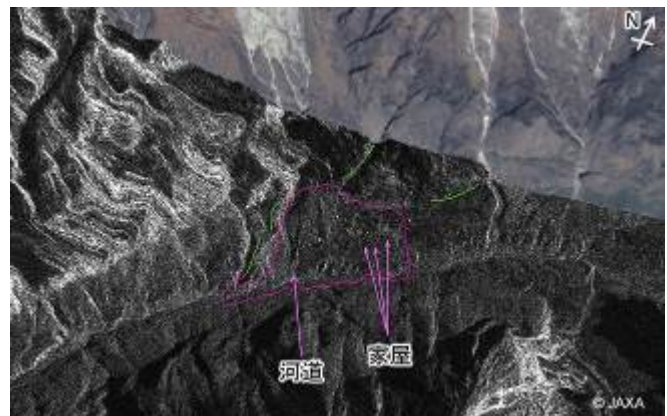
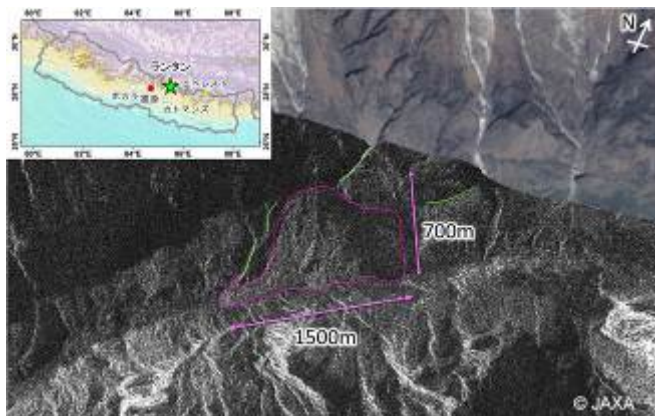
2015/2/21 - 2015/5/2 の干渉ペアにより捉えられたカトマンズ中心の干渉画像。視線方向の最大変位は1.5m程度と推測される。



(左) 前図の干渉画像のうちカトマンズ市街を拡大したもの。局所的な変位が見られる。(右) 土木学会・地盤工学会・日本地震工学会のネパール地震緊急被害調査団により撮影されたネパール市街で特に地盤の変動が大きい箇所。左図の局所変位のうち右下部に対応する。



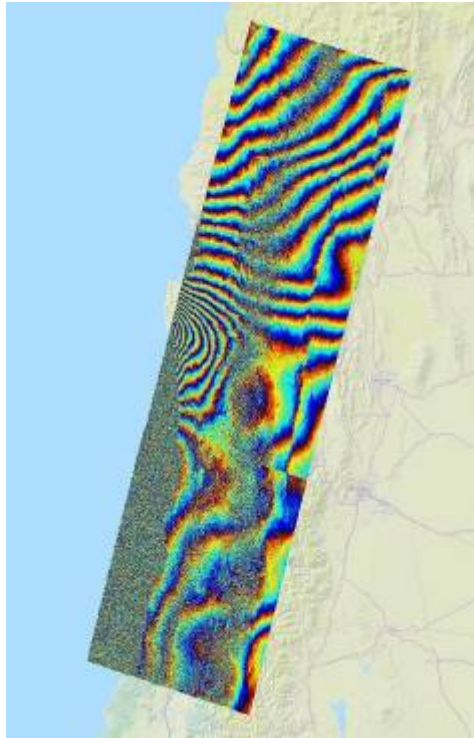
3 時期コヒーレンス解析により抽出されたカトマンズ市内の建物損傷域の抽出例。



(左) 2015/4/26 に観測されたネパール・ランタン村付近の強度画像。1500m × 700m の範囲にわたる土砂崩れが観測された。(右) 2014/12/28 に左図と同じ範囲を観測した ALOS 画像。河道や家屋が見える。

・チリ沖地震

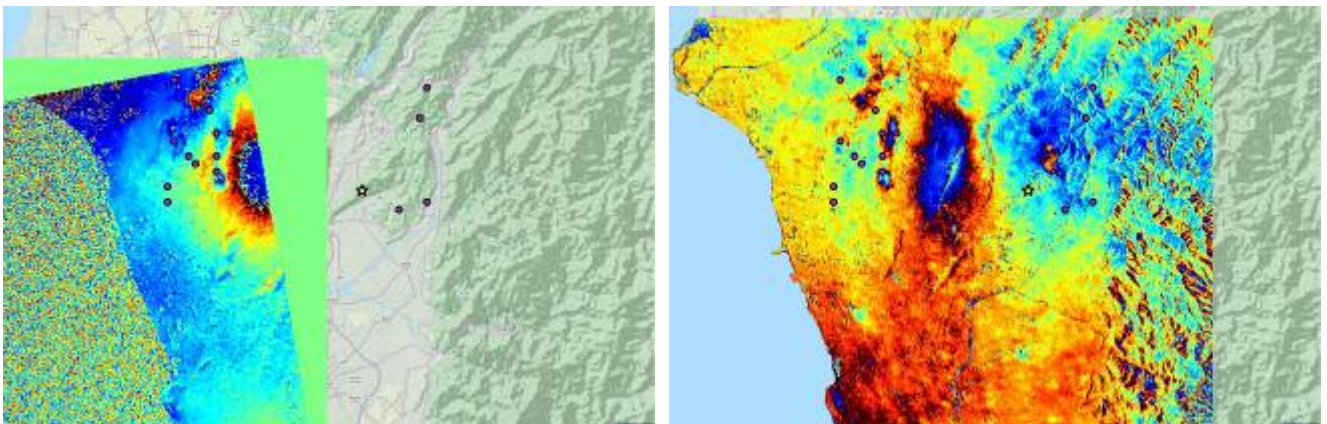
9月17日に発生したチリ沖の地震においても ScanSAR 干涉解析を行ったが、電離層などによると考えられる地殻変動以外の干涉縞が重畳しており、単独の干涉ペアでの解析を困難とした。



2015/9/24 - 2015/7/30 の ScanSAR 干涉画像。南北 900km の干涉画像には電離層などによると考えられる干涉縞が重畳し、単独の干涉画像では変動を定量できなかった。

・台南地震

2月6日に台南で発生した M6.4 の地震において、Strip Map および ScanSAR による干涉解析を行った。震源北西に 12 ~13cm 程度の隆起が見られ、その西側に東方向への移動と考えられる局所的な変位が得られた。いくつかの余震の震源は局所的な変動域にほど近いことがわかるが、観測間隔の都合上、どの余震がどの局所変位を引き起こしたかについては確定できない。



(左) 2015/12/29 - 2016/2/9 の干涉画像。黄色星が震源、紫の丸は余震分布 (右) 2016/1/31 - 2016/2/14 の干涉画像。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

ネパール地震を踏まえ ScanSAR 干渉の問題等について Earth, Planets and Space 誌上で報告している (Ryo Natsuaki, Hiroto Nagai, Takeshi Motohka, Masato Ohki, Manabu Watanabe, Rajesh B. Thapa, Takeo Tadono, Masanobu Shimada and Shinichi Suzuki, “SAR interferometry using ALOS-2 PALSAR-2 data for the Mw 7.8 Gorkha Nepal earthquake,” Earth, Planets and Space, 68:15, 2015.)

また、ネパール地震の解析結果を JAXA WEB (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index_j.htm) で公開している。

来年度以降の課題・計画：

本年に引き続き ScanSAR・ScanSAR 干渉の精度向上に取り組む

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

特になし。

ただ、JAXA の標準成果物を使っていただいております、成果品に対するコメント（不具合情報（観測日付、処理レベル）や改修要望があればいただきたい。

代表研究者 氏名（所属機関）：田中 明子（産業技術総合研究所）

支援研究者 氏名（所属機関）：

課題名称：合成開口レーダを用いた地震活動に伴う地殻変動のモニタリング

今年度の成果概要：

2016 年 2 月 6 日に台湾南部で発生した地震について，地震 SAR 解析 WG を通じてご提供頂いた PALSAR-2 データの解析を ISCE (InSAR Scientific Computing Environment, <https://winsar.unavco.org/isce.html>) を用いて行った．全体的にノイジーな画像 (Radar interference and/or ambiguity?) ではあるが，他機関で迅速に公開された結果と調和的な結果が得られた．

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

FRINGE2015 (<http://seom.esa.int/fringe2015/>) の proceedings の共著者として、地震 SAR 解析 WG における活動などを通じての処理結果の一部を利用した。

来年度以降の課題・計画：

衛星搭載の SAR データを用いて、地表変動を捉えることのできる可能性のある事例についての解析を行う。アーカイブデータを利用し、時系列解析にも取り組む。また、PALSAR-2 の ScanSAR モードや Sentinel-1a のデータとの相補的な利用も考慮する。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

地震 SAR 解析 WG としても、AUIG-2 の OS 依存性の解決を JAXA に要望していただけると幸いです。

代表研究者 氏名（所属機関）：三浦 哲（東北大学大学院理学研究科）

支援研究者 氏名（所属機関）：太田雄策（東北大学大学院理学研究科）

課題名称：SAR 及び GNSS データ解析に基づく奥羽脊梁山脈沿いのひずみ集中機構に関する研究

今年度の成果概要：

本研究では、SAR 及び GNSS データ解析を併用することにより、東北地方太平洋沖地震後の陸域の地殻変動を高い時間・空間分解能で明らかにし、東北日本弧の粘弾性応答を定量化することを通じて、奥羽脊梁山脈沿いのひずみ集中機構の解明を目的とする。今年度は、キネマティック PPP (kPPP) 解析の高精度化のために、対流圏遅延パラメータの推定時に使用するハイパーパラメータの最適値を客観的に決定する方法の検討と、その結果の精度評価を行った。具体的には座標時系列の標準偏差が最小となる天頂湿潤大気遅延量とその勾配量を観測点毎にグリッドサーチで探索し、その空間分布について検討を行った。その結果、天頂湿潤大気遅延量には地域特性があるものの、勾配量に関しては見られなかった。次に全 GEONET 観測点に共通する最適パラメータを推定し、その値を用いて kPPP 時系列を計算した。これらと、通常用いられているハイパーパラメータによる結果を比較したところ、水平成分で 5.2~6.9%、上下成分で 20.8%、標準偏差が向上した。

このようにして得られた最適ハイパーパラメータを用いて、2011 年東北沖地震直後 18 時間分の余効変動時系列を推定した。さらに空間的な相関ノイズを除去するために主成分分析を行った。具体的には、第 1 主成分とノイズに起因すると判断された第 2 主成分を除いた第 3、第 4 主成分の和による時系列からひずみ分布を推定した。その結果、奥羽脊梁山脈に沿って局所的に面積ひずみが増大（膨張）する特徴的な領域が存在することが明らかになった。こうした面積ひずみの異常は岩手山南部、肘折北東部、吾妻山周辺及び那須岳周辺において顕著であった。さらに、先行研究で得られている地震時に周囲とくらべて大きく沈降した領域と比較すると、本研究で得られた局所的膨張領域は、それらの領域と奥羽脊梁山脈にそって空間的に相補的な関係にあることが明らかになった。これらの特徴的な面積ひずみの異常域がより長期的にどのようにふるまうのかを調べるために、日座標値を用いた解析も合わせて行った。その結果、領域によって面積ひずみの減衰率が異なることも明らかになった。こうした地震時に応答した領域と、地震後に応答した領域が相補的に存在すること、そして領域によってその面積ひずみの時間変化が異なることは、脊梁山脈に沿った地下の媒質の力学特性や構造的な不均質性を反映している可能性が高いことが明らかになった。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

太田 雄策 ・ 木戸 元之 ・ 出町 知嗣 ・ 日野 亮太, 精密可動台を用いた海底地殻変動観測のためのキネマティック GNSS 時系列のノイズ評価, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 千葉, 幕張メッセ, 2015 年 5 月.

平田雄一郎・太田雄策, キネマティック PPP 解析における対流圏遅延パラメータと座標推定値の分離精度についての検証, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, 幕張メッセ, 2015 年 5 月.

平田雄一郎, キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究, 東北大学大学院理学研究科修士論文, pp. 146, 2015.

来年度以降の課題・計画：

- (1) 取得した ALOS-2 のデータを用いて干渉解析を実施し, 解析手法や解析時のパラメータ等の最適化を図る.
- (2) (1)で得られた知見をもとに, InSAR 解析の自動化を図る.
- (3) InSAR 解析を基にして地殻変形の時間変化を明らかにするため, PS 干渉解析を実施し, GNSS データを用いることによりノイズ除去法や信頼性の向上法について検討を行う.
- (4) GNSS による変位データと PS-InSAR による LOS データとの併用により, 高い時間・空間分解能の余効変動場を抽出してひずみ集中機構のモデルを構築する.

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：